

Під час зниження літака задача вибору найвигіднішого керування може бути розглянута в площині (v, t) , як показано на рис. 2, б.

Дуги MB , AK відповідають зниженню літака з гальмуванням. Відповідно до розглянутого методу для функціонала (4) величина

$$\omega = -\frac{\partial \varphi}{\partial v} = -\varphi \left(\frac{\partial \ln q}{\partial v} - \frac{\partial \ln m_B}{\partial v} \right),$$

де передбачається, що

$$\frac{\partial}{\partial v} (\rho_B \bar{q}_0 K_{O_3} n_{O_3} I_{NO}) \approx 0.$$

Якщо припустити $\frac{\partial \ln q}{\partial v} \geq 0$, $\frac{\partial \ln m_B}{\partial v} < 0$, в області $MAKB$ величина $\omega < 0$, тому мінімум маси зруйнованого озону в тропосфері буде визначатися уздовж шляху MBK : зниження літака з гальмуванням (дуга MB), рух зі сталою швидкістю (дуга BK).

Даний метод дослідження найвигідніших траєкторій руху літака може бути використаний з урахуванням інших екологічних критеріїв (наприклад, шуму), мінімуму витрати палива.

Список літератури

1. Квитка В. Е., Мельников Б. Н., Токарев В. И. Гражданская авиация и охрана окружающей среды. – К.: Вища шк. Головное изд-во, 1984. – 136 с.

Стаття надійшла до редакції 19.03.01.

УДК 629.07.54

В.В. Карачун, В.Х. Баланін, В.М. Мельник,
К.Р. Потапова, Г.Б. Астапова

АКУСТИЧНЕ ВИПРОМІНЮВАННЯ І ЕКСПЛУАТАЦІЯ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

Наведено аналіз збуреного стану плоских та оболонкових елементів літальних апаратів під дією акустичного випромінювання. Встановлено закономірності згинального руху елементів та ступінь впливу акустичних полів на особливості їх динаміки.

Практика експлуатації літальних апаратів (ЛА) різного цільового призначення показує, що акустичне випромінювання високої інтенсивності (вище 150 дБ) може призвести до серйозних змін стану як поверхні конструкції ЛА, так і комплектуючих. Причому інтерес викликає не тільки ступінь надійності конструкції, але і пружна взаємодія механічних систем із хвилею звукового тиску.

Інтерес до цього явища обумовлений виникненням особливостей функціонування командно-вимірювальних систем життєзабезпечення ЛА в цілому під час роботи в просторових акустичних полях.

Розглянемо це явище для деяких типових механічних елементів конструкції ЛА.

Багато комплектуючих елементів бортової апаратури ЛА виготовляють у вигляді ідеально гнучких, сталої товщини пластин (прямокутних чи круглих), однак сильно і рівномірно розтягнутих у всіх напрямках, так що можна знехтувати малими змінами цих зусиль, викликаних їхніми прогинами під час коливань. Такі елементи називають мембранами. Розглянемо спочатку прямокутну мембрану зі сторонами a і b .

Незалежно від вигляду функції W в межах прямокутної області її завжди можна подати у вигляді подвійного ряду

$$W = \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} W_{mn}(t) \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b},$$

де m, n – числа напівхвиль вигину в напрямку осей x і y відповідно.

Кожен член ряду задовольняє граничним умовам:

$$W|_{\substack{x=0, y=0 \\ x=a, y=b}} = 0.$$

Змушені коливання мембрани описуються диференціальними рівняннями вигляду [1]

$$\frac{\gamma ab}{4g} \ddot{W}_{mn} + S \frac{ab\pi^2}{4} \left(\frac{m^2}{a^2} + \frac{n^2}{b^2} \right) W_{mn} = Q_{m_1 n_1},$$

де γ – питома маса матеріалу мембрани; g – прискорення вільного падіння; S – рівномірно прикладене розтяжне зусилля, $Q_{m_1 n_1}$ – узагальнена сила, обумовлена з формули для віртуальної роботи δA хвилі надлишкового тиску $P_1(x, y, z, t)$ на віртуальному переміщенні δW_{mn} ; m_1, n_1 – числа напівхвиль надлишкового тиску P_1 в напрямку осей x і y .

Нехай

$$P_1(x, y, z, t) = P_{10} \exp i \left\{ \omega t - k [x \sin \theta - (y - \delta) \cos \theta] + \frac{\pi}{2} \right\},$$

де P_{10} – амплітуда надлишкового тиску, ω – колова частота падаючої хвилі; $k = \omega/c$ – хвильове число, c – швидкість звуку в повітрі; x, y – координати точки поверхні; θ – кут падіння плоскої хвилі на лицьову поверхню мембрани, δ – товщина мембрани.

Тоді

$$\delta A = \int_0^a \int_0^b P_1(x, y, z, t) \sin \frac{m_1 \pi x}{a} \sin \frac{n_1 \pi y}{b} dx dy \delta W_{mn}$$

$$Q_{m_1 n_1} = P_{10} \exp i \left(\omega t - k \delta \cos \theta + \frac{\pi}{2} \right) \exp i [k(b \cos \theta - a \sin \theta)] \times \\ \times \left\{ S_1 m_1 \pi a^{-1} \exp i (ka \sin \theta) - S_2 n_1 \pi b^{-1} \exp i (kb \cos \theta) - S_1 S_2 \right\},$$

де S_1, S_2 – сталі коефіцієнти.

Якщо при $t = 0$ мембрана знаходилася у спокої, то раптовий вплив P_{10} , що прикладається рівномірно до всієї поверхні, призводить до динамічних прогинів вигляду

$$W = \frac{16g}{\gamma \pi^2} P_{10} \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1 - \cos \omega_{mn} t}{mn \omega_{mn}^2} \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b},$$

де m, n – непарні числа, $\omega_{mn}^2 = \gamma^{-1} g \pi^2 S (m^2 a^{-2} + n^2 b^{-2})$ – квадрат колової частоти згинальних коливань m -ї, n -ї форми.

У тому випадку, коли границя мембрани трохи відрізняється від колової, частота нижньої форми коливань мембрани приблизно дорівнює частоті коливань колової мембрани, що має ту ж площу і те ж значення величини $\frac{gS}{\gamma}$. У загальному випадку формула для визначення частоти основної форми коливань мембрани буде мати вигляд

$$\omega = \alpha \left[gS (\gamma F)^{-1} \right]^{\frac{1}{2}},$$

де F – площа мембрани.

Якщо ж мембрана закріплена не тільки по граничній окружності, аналітичне дослідження динаміки збуреного руху при хвильовому впливі викликає значні математичні труднощі. На сьогоднішній день отримано рішення тільки для випадку еліптичної границі.

Скориставшись методикою [1], одержимо закон згинального руху мембрани під дією надлишкового тиску:

$$W = \frac{16g}{\gamma\pi^2} P_{10} \sum_{\alpha=0}^{2\pi} \left[\sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1 - \cos \omega_{mn} t}{mn\omega_{mn}^2} \sin \frac{m\pi x \cos \alpha}{a} \sin \frac{n\pi y \sin \alpha}{b} \right].$$

Аналіз цього виразу показує, що вузлові діаметри мембрани знаходяться на лініях $x=0$ і $y=0$.

Нехай для конкретності $a=R$, $b=\frac{R}{10}$ (R – радіус мембрани). У цьому випадку для нижньої форми маємо

$$W_{1,10} = \frac{16g}{\gamma\pi^2} P_{10} \sum_{\alpha=0}^{2\pi} \left[\sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1 - \cos \omega_{1,10} t}{10\omega_{1,10}^2} \sin \frac{\pi x \cos \alpha}{R} \sin \frac{10\pi y \sin \alpha}{R} \right].$$

Отже у загальному випадку можна визначити точки мембрани, де має місце суперпозиція декількох форм коливань: $x_{mn} = 100y_{mn}$.

На лініях $\alpha = \frac{\pi}{2}$ і $\alpha = \frac{3\pi}{2}$ визначаємо вузлові діаметри мембрани.

Крім вузлових діаметрів, мембрана може мати і вузлові окружності, на яких величини прогинів $W(x, y, z, t) = 0$.

Якщо дослідити закон згинальних коливань на екстремум, можна установити також лінії пучностей, де прогини мембрани досягають своїх максимальних значень:

$$x_{mn} = \arccos \left\{ \frac{m\pi \cos \alpha}{a} W(x, y, z, t) \sin \frac{n\pi y \sin \alpha}{b} \cos \frac{m\pi x \cos \alpha}{a} \right\};$$

$$y_{mn} = \arccos \left\{ \frac{n\pi \cos \alpha}{b} W(x, y, z, t) \sin \frac{m\pi x \cos \alpha}{a} \cos \frac{n\pi y \sin \alpha}{b} \right\}.$$

Іншим, найбільш поширеним елементом конструкції ЛА є кругова циліндрична оболонка (або її сполучення з іншими геометричними формами).

Диференціальні рівняння пружної циліндричної оболонки запишемо у вигляді, яким в технічній моментній теорії описано стан тонкої оболонки у випадку нормального падіння звукової хвилі [2]:

$$\omega_y^2 \rho V + \frac{\partial^2 V}{\partial \beta^2} - \frac{1-\sigma}{2} \frac{\partial^2 V}{\partial z^2} + \frac{\partial W}{\partial \beta} = 0;$$

$$\omega_y^2 \rho W + \frac{\partial V}{\partial \beta} + C^2 \left(\frac{1}{R^4} \frac{\partial^4 W}{\partial \beta^4} + \frac{2}{R^2} \frac{\partial^4 W}{\partial z^2 \partial \beta^2} + \frac{\partial^4 W}{\partial z^4} \right) + W = F(z, \beta, t),$$

де $V = V(z, \beta, t)$, $W = W(z, \beta, t)$ – відповідно тангенціальна і радіальна складові переміщення елементів поверхні; $0 < z < L$; $0 \leq \beta \leq 2\pi$ – центральний кут; L – довжина оболонки; $C^2 = \eta^2 (12R^2)^{-1}$ – множник; η – товщина оболонки; R – радіус оболонки.

Нехай граничні умови будуть такими:

$$V|_{z=0} = V|_{z=L} = 0; \quad W|_{z=0} = W|_{z=L} = 0; \quad \frac{\partial^2 W}{\partial z^2} \Big|_{z=0} = \frac{\partial^2 W}{\partial z^2} \Big|_{z=L} = 0.$$

Нехай у початковий момент часу $t=0$ з пружною оболонкою починає взаємодіяти хвиля тиску

$$F(z, \beta, t) = P_0 \exp i[\omega t - k_0(\alpha z + \beta_1 R_\beta)],$$

де β – центральний кут у площині шпангоута; P_0 – амплітуда звукового тиску; α, β_1 – сталі коефіцієнти; z, R_β – координати точки поверхні.

Розв'язок системи вихідних рівнянь шукаємо у вигляді рядів:

$$V(z, \beta, t) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} V_{mn}(t) \exp im\beta \sin \frac{n\pi z}{L};$$

$$W(z, \beta, t) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} W_{mn}(t) \exp im\beta \sin \frac{n\pi z}{L},$$

де m, n – числа напівхвиль вигину в поперечній і подовжній площинах відповідно.

Якщо збурювання $F(z, \beta, t)$ також подати у вигляді подвійного ряду

$$F(z, \beta, t) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} F_{mn}(t) \exp im\beta \sin \frac{n\pi z}{L},$$

то пружні переміщення поверхні можна буде записати у вигляді:

$$V(z, \beta, t) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \left(-im \frac{F_{mn}}{\Delta_{mn}} \exp im\beta \sin \frac{n\pi z}{L} \right);$$

$$W(z, \beta, t) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \left[\omega_y^2 \rho - m^2 - \frac{1-\sigma}{2} \left(\frac{n\pi}{L} \right)^2 \right] \frac{F_{mn}}{\Delta_{mn}} \exp im\beta \sin \frac{n\pi z}{L},$$

де F_{mn} , Δ_{mn} визначаються з вихідної системи диференціальних рівнянь.

Очевидно, що одночасно тангенціальна V і радіальна W складові будуть перетворюватися на нуль у разі виконання співвідношення

$$\frac{n\pi z}{L} = \nu \pi, \quad \nu = 0, 1, 2, \dots$$

тобто з появою форм $n = \nu \frac{L}{z}$.

Якщо ж виконується умова

$$\omega_y^2 \rho - m^2 - \frac{1-\sigma}{2} \left(\frac{n\pi}{L} \right)^2 = 0,$$

то відсутні тільки радіальні переміщення W , а тангенціальні V можуть бути реалізовані. Це явище має просту інтерпретацію взаємного впливу m -форм і n -форм, що й призводить до ефекту їхнього взаємного заглушення.

З цього співвідношення випливає також, що тут не використані форми

$$m = \omega_y \sqrt{\rho}.$$

Проведемо числовий аналіз виникаючих на поверхні пружних переміщень. Для конкретності нехай $\omega = 10^3 \text{ c}^{-1}$, $n = 1$, $m = 6$. Тоді виявляється, що в площині шпангоута точки поверхні переміщаються так, що в середньому перетині оболонки вони максимальні, а ближче до країв убувають до нуля. Подовжні, n -форми, волокна також максимальні в середині і нульові на краях. Причому максимальним прогинам у поперечній площині убік зовнішньої нормалі відповідають максимальні опуклості в подовжній площині, а убік внутрішньої нормалі – увігнутості. Природно, всі інші подовжні волокна займають проміжні положення, причому середні не деформуються. Це відповідає давно усталеним передумовам.

Таким чином, пружна взаємодія акустичного випромінювання з механічними системами ЛА призводить до виникнення збуреного руху їхньої поверхні, що у сукупності з кінематичним і силовим (вібраційним) впливами може призвести до небажаного відхилення передбачених технічними умовами характеристик. Особливо яскраво цей вплив виявляється в системах, що мають носії кінетичних моментів. У цьому випадку спільний зовнішній вплив значених перешкод призводить до появи гіроскопічної реакції, а також явищ, що її супроводжують.

Список літератури

1. Тимошенко С.П., Янг Д.Х., Уивер У. Колебания в инженерном деле / Пер. с англ. Под ред. Э.И. Григолюка. – М.: Машиностроение, 1985. – 472 с.
2. Шендеров Е.Л. Волновые задачи гидроакустики. – Л.: Судостроение, 1972. – 352 с.

Стаття надійшла до редакції 19.03.01.

УДК 521.508.7

ББК 618 - 9231121 с 2

С.Н.Занько

ОСНОВНІ ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КОНТРОЛЮ ВИКИДІВ ШКІДЛИВИХ РЕЧОВИН

Розглянуто найбільш широко використовувані під час контролю забруднення навколишнього середовища технічні засоби, призначені для формування середніх проб речовини, виміри витрат і запиленості газоповітряного середовища.

Відбір і формування середніх проб речовини – допоміжна операція на першій стадії контролю забруднення навколишнього середовища, проте, від того, як організована ця операція, як виконано її основний технічний засіб – формування середніх проб речовини – наскільки він технологічний і зручний в експлуатації, залежить зацікавленість у його масовому впровадженні і подальшому розвитку спеціалізованих центрів охорони навколишнього середовища.

Середня проба – об'ємна (масова) частина речовини (газоподібної, рідкої, сипучої), фізико-хімічні властивості якої (проби) характерні для осереднених значень властивостей всієї маси речовини. Якщо речовина знаходиться в статичному стані (наприклад, повітря промплощадок, рідина в басейнах і резервуарах) проби в осереднюючу нагромаджувальну ємність відбирають з різних місць просторового розподілу речовини. Проби у місцях відбору повинні бути пропорційні тиску (для газоподібних), щільності (для сипучих) та густині (для рідких). У разі відбору проб із потоку речовини (з газопроводу) обсяги проб повинні бути пропорційні її витратам в місцях відбору.

Достовірність середньої проби, сформованої за контрольований період T_k , тим вища, чим частіше здійснюється відбір. Відбір проби може бути разовим, періодичним або безперервним. При разових і періодичних відборах отримана інформація про середні параметри шкідливих викидів може бути недостатньо об'єктивною, перекошеною, тому що інтенсивність забруднення навколишнього середовища, як правило, нерівномірна в часі (залпові викиди). Безперервний відбір проби при виконанні інших умов (достатня кількість місць відбору, відповідне розташування, обсяг проб, що відбираються) дозволяють сформувати середню пробу з максимально ймовірним високим ступенем достовірності. При безперервному, тривалому відборі проб необхідно вирішити технічну задачу, обумовлену тим, що об'єм контейнера з результуючою контрольною пробкою обмежений 1...5 л, а, приміром, для відбору проби із середньою витратою 0,5 л/хв (30 л/год) протягом доби необхідний нагромаджувальний контейнер об'ємом 30 л/год·24 год = 720 л.

Спосіб формування середньої проби речовини полягає в безперервному відборі проби з витратою $q = F(Q, P)$, пропорційною витраті Q або тиску P речовини в місці відбору з подальшим періодичним заповненням і спороженням контейнерів $V_1, \dots, V_i, \dots, V_n$ проміжних об'ємів n послідовно задіяних модулів формувачів $\Phi_1, \dots, \Phi_i, \dots, \Phi_n$, причому, контейнер V_1 об'єму модуля Φ_1 першого щабля формування заповнюється безпосередньо з місця відбору витратою q , а кожний з контейнерів $V_2, \dots, V_i, \dots, V_n$ формувачів $\Phi_2, \dots, \Phi_i, \dots, \Phi_n$ наступних щаблів заповнюється дозою $D_{(i-1)}$, сформованою дозатором при спороженні контейнера $V_{(i-1)}$ попереднього формувача $\Phi_{(i-1)}$ (рис.1).