

$$B = 2 \left(4c_p \frac{2\lambda}{\omega D_h} T^* - f_x \right);$$

$$C = \left(2f_x T^* - 4c_p \frac{2\lambda}{\omega D_h} T^* \right).$$

The solution obtained together with the equation defining the stagnation temperature forms a nonlinear algebraic equation system to determine pressures and temperatures in nonisentropic adiabatic flow with the given constant mass forces influence.

Thus, specific solutions to model stationary compressible gas flow in the constant section area channel are given in the paper, in particular, a new analytical solution without heat exchange but with a mass force. The specific solution of the energy equation of the initial problem with heat exchange is considered in the paper [3].

References

1. Fedorov M. On general solution of ODE system for modeling stationary compressible flow of perfect gas with constant heat flux and friction in constant-area channel // Вісн. НАУ. – К. – 2000. – № 1. – С. 150–154.
2. Абрамович Г.Н. Прикладная газовая динамика. – М.: Наука, 1969. – 824 с.
3. Федоров М.Ю. О моделировании одномерного стационарного движения сжимаемого совершенного газа с трением и теплообменом в трубе постоянного сечения // Сб. науч. тр. ИПМЭ НАН Украины. Вып. 3. – Львів: Світ, 1998. – С. 20–23.

Стаття надійшла до редакції 30.03.02.

УДК:519.6:536.58:533.6:681.3

В.П. Зінченко, канд. техн. наук,
Н.П. Зінченко, старш. викл.,
І.П. Муха, старш. викл.

РОЗРАХУНОК ВИМІРЮВАЛЬНОГО БЛОКА ВНУТРІШНЬОМОДЕЛЬНИХ ТЕНЗОМЕТРИЧНИХ ВАГ У СЕРЕДОВИЩІ MATHCAD

Запропоновано методику і алгоритм оптимізованого розрахунку на міцність і чутливість блока для виміру сили лобового опору та методику і алгоритм перевірних розрахунків вимірювального блока готових тензометричних ваг за заданими геометричними розмірами і навантаженням у середовищі MathCAD.

Вступ. Актуальною проблемою при створенні інформаційних технологій проектних досліджень (ІПД) складних технічних об'єктів (ТО), зокрема, авіаційної техніки, є проектування первинних джерел інформації (ПДІ) [1; 2; 3]. До ПДІ відносять різні пристрої для визначення значень фізичних величин, зокрема, аеродинамічні тензометричні ваги (ТВ), які використовують для вимірювання значень складових моменту і сили при експериментальних дослідженнях (ЕД) моделей ТО, зокрема, моделі літального апарату (МЛА) в заданому діапазоні параметрів досліджень [4–6].

Найбільш поширеною схемою блока для виміру сили лобового опору є багатоланкова статично невизначена рама з двома вимірювальними балками [4; 6–8].

Проектування ТВ починається з вибору типу пружного блоку і розрахунку його параметрів, які значною мірою визначають характеристики ТВ. Параметри елементів пружного блоку знаходять методом послідовних наближень міцності і чутливості. Але такий підхід не завжди призводить до бажаного результату. Тому доцільно застосовувати метод безпосереднього визначення характеристик ТВ, який дозволяє знайти параметри міцності і чутливості одночасно. У кінцевому підсумку проектуються ТВ з оптимальними параметрами, а також значно корочується час їх проектування.

Методику оптимізованого розрахунку на міцність і чутливість блока ТВ для виміру сили лобового опору дозволяє обчислити геометричні розміри вимірювальних і силових стійок блоку для заданих геометричних, міцнісних обмежень та аеродинамічних навантажень.

Класифікація ПДІ. Умовно ПДІ можна розділити на клас одноканальних та клас багатоканальних пристроїв. До класу одноканальних ПДІ віднесемо прилади, які використовуються для визначення значень тільки однієї фізичної величини (датчики температури або тиску), а до класу багатоканальних ПДІ – прилади, які використовуються для визначення значень декількох фізичних величин (наприклад, ТВ).

Подання ПДІ у вигляді деякої математичної структури дозволяє вивчати та використовувати їх як кібернетичну систему у вигляді «чорного ящика» [1]. При цьому вся сукупність параметрів, які визначають стан ПДІ, об'єднуються в групи.

У групу вхідних змінних x_i -факторів впливу об'єднуються керовані параметри ПДІ. Значення вхідних змінних знаходяться в деякому інтервалі, що обумовлюється технологічними можливостями та технічними обмеженнями $x_{i_{\min}} \leq x_i \leq x_{i_{\max}}$ ЕД [1–4].

Вихідні величини містять інформацію про значення вхідних величин

$$y_j = f_j(x_1, x_2, \dots, x_n).$$

До групи контрольованих, але некерованих параметрів

$$z = \{z_p\}_{p=1}^{\text{const}}$$

входять ті параметри ПДІ, цілеспрямована зміна яких неможлива (наприклад, температура, тиск та ін.).

До групи неконтрольованих параметрів

$$\omega = \{\omega_k\}_{k=1}^{\infty}$$

входять збурюючі впливи, часові характеристики яких (точки прикладення та інтенсивність дії) носять випадковий характер та не піддаються визначенню.

Задача ЕД з пошуку математичного опису ПДІ полягає у знаходженні залежностей між різними групами контрольованих параметрів ПДІ у вигляді функції $y = \varphi(x, z)$, яка встановлює зв'язок між вхідними та вихідними параметрами (математичні моделі – ММ).

Варіювати можна лише керовані параметри ПДІ (рис.1), тобто групу вхідних змінних. У випадку активних ЕД всі некеровані та неконтрольовані параметри замінюються еквівалентним адитивним шумом (рис. 2) [1–4].

Методологія проектування ПДІ побудована на факті, що ПДІ – це пристрій, на вхід якого подаються фактори впливу $x_j, j=1,2,\dots,m$, а на виході одержуємо їх виміряні величини y_i , де $i=1,2,\dots,n$ [1–2]. При математичному моделюванні ПДІ розв'язуються пряма і обернена задачі [6–8]:

$$Y = XB; \quad X = YA, \quad (1)$$

де Y – вибрана оцінка i вихідної величини; X – вибрана оцінка j фактору впливу.

Явний запис ММ (1) у вигляді поліномів другого порядку такий:

$$y_i = b_0 + \sum_{i=1}^m b_i x_i + \sum_{\substack{i,j=1 \\ i \leq j}}^{m,n} b_{i,j} x_i x_j;$$

$$x_j = a_0 + \sum_{i=1}^n a_i x_i + \sum_{\substack{i,j=1 \\ i \leq j}}^{n,m} a_{i,j} x_i x_j, \quad (2)$$

де $b_0, b_i, b_{ij}, a_0, a_i, a_{ij}$ – вибрані оцінки коефіцієнтів у ММ.

Метою розрахункових методів проектування ПДІ є вибір оптимальної конструкції ПДІ, яка б забезпечувала мінімальний вплив між компонентами при максимальній чутливості.

Навпаки, метою методів ЕД проектування ПДІ є «доводка» конструкції ПДІ, визначення її реальних характеристик та ММ.

Узагальнений метод розрахунку та проектування ТВ наведено в роботах [4; 5; 7].

Задача математичного моделювання ПДІ формулюється як задача визначення ММ ПДІ з урахуванням заданих обмежень на незалежні змінні, впливи і взаємовпливи факторів на моделюючі функції при умові мінімально можливого числа необхідних дослідів і найбільш простих видів ММ.

Первинне джерело інформації розглядається як складна система, яка має входи x_i і виходи y_j . Ідеальна конструкція ПДІ припускає лінійний взаємозв'язок між x_i і y_j . Реально ці вимоги не виконуються, так як при схематизації розрахункових конструктивних форм приймаються допущення, які призводять до невідповідності розрахункових і реальних властивостей і, як наслідок, до неврахування виникаючих впливів, взаємовпливів, нелінійності.

Для виявлення реальних властивостей ПДІ доцільно використати експериментально-статистичну методологію і концепцію МТПЕ [1; 8]. Тому ЕД ПДІ необхідно проводити за багатофакторною схемою, структуру зв'язків між входами і виходами – з урахуванням нелінійності. При цьому адекватна ММ ПДІ зображається у вигляді (2).

Алгоритм проектування ПДІ визначається такою послідовністю [1].

- Крок 1. Формування початкових даних та визначення діапазону роботи ПДІ.
- Крок 2. Визначення класу ПДІ. Якщо ПДІ відноситься до одноканального класу, то необхідно перейти на крок 4, в іншому випадку – на крок 3.
- Крок 3. Вибір схеми ПДІ. Розрахунок ПДІ за відповідними методиками.
- Крок 4. Виготовлення конструктивних елементів ПДІ.
- Крок 5. Генерація плану експерименту (ПЕ) для ЕД конструктивних елементів ПДІ.
- Крок 6. ЕД конструктивних елементів ПДІ, обробка даних експерименту (ДЕ) і їх аналіз з погляду оптимального розв'язку. Якщо «негаразд», то необхідно перейти на крок 4.
- Крок 7. Складання ПДІ.
- Крок 8. Генерація ПЕ для ЕД ПДІ.
- Крок 9. ЕД ПДІ. Розв'язання прямої задачі, обробка ДЕ та їх аналіз для прийняття рішення щодо конструкції ПДІ. Якщо «негаразд», то необхідно перейти на крок 4.
- Крок 10. ЕД ПДІ. Розв'язання оберненої задачі, обробка ДЕ та аналіз ММ ПДІ. Якщо «негаразд», то необхідно перейти на крок 4.
- Крок 11. ЕД ПДІ з використанням еталонної МЛА, обробка ДЕ з використанням ММ ПДІ, визначення похибок ПДІ, порівняння одержаних ДЕ з відомими значеннями для еталонної МЛА.
- Крок 12. Аналіз характеристик ПДІ та прийняття рішення про можливість їх застосування в ІТПД. Якщо «негаразд», то необхідно перейти на крок 2.
- Крок 13. Оформлення документації (паспорта) на ПДІ, розміщення ММ ПДІ в базі даних ІТПД.
- Крок 14. Кінець.

Методика розрахунку пружного блока. Оскільки пружний блок ТВ (рис. 3) є багато разів статично невизначеною системою, то для його розрахунку застосовується метод деформації, який є більш ефективним у порівнянні з методом сил. Він дає можливість визначити параметри пружних елементів.

Пружний блок призначений для виміру сили лобового опору Q і виконаний з єдиного шматка металу. Блок розділений діагональним перерізом на дві частини, які зв'язуються між собою вісьма вертикальними стійками 1, 3 (число стійок завжди кратне чотирьом) і двома горизонтальними вимірювальними елементами (ВЕ) 4, які розташовані по боках від центральних ребер жорсткості 6. У свою чергу, ВЕ 4, які виконані ексцентриситетом h , з'єднані з корпусом ТВ за допомогою гнучких шарнірів 5 і силових стійок 2. Під дією сили Q ВЕ 4 деформуються, а величина деформації фіксується тензорезисторами.

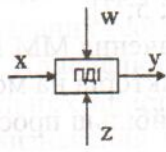


Рис. 1

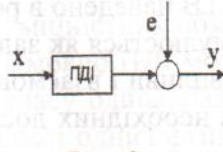


Рис. 2

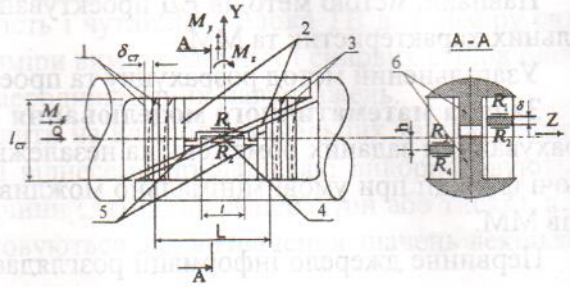


Рис. 3

З метою зменшення впливу піднімальної сили Y і моменту M_z на ВЕ вони розташовуються симетрично відносно осі Z .

Метод розрахунку на міцність і чутливість застосовується для визначення оптимальних параметрів ТВ, де виконується розрахунок елементів пружного блоку. Розрахунок для кожного компонента ТВ виконується окремо.

Сила Q викликає деформацію стійки пружного елемента блока, а на ВЕ виникає деформація вигину і стиску (рис. 4). Зусилля, які сприймаються вимірювальними балками X_b і стійками X_s , визначаються з рівняння статки і сумісності деформацій:

$$\begin{cases} X = 8X_s + 2X_b; \\ f_s = f_b, \end{cases} \quad (3)$$

де f_s – переміщення стійок:

$$f_s = \frac{X_s l_s^3}{12EJ_s};$$

f_b – переміщення балок:

$$f_b = \frac{X_b}{E} \left(\frac{2l_w}{F_w} + \frac{l}{F} + \frac{h^2 l}{I} \right).$$

Розв'язок (3) має вигляд:

$$X_s = \frac{X}{8 + \frac{l_s^3 X_b}{6J_s E \cdot f_b}};$$

$$X_b = \frac{\frac{1}{2} X}{1 + \frac{48J_s}{l_s^3} \left(2 \frac{l_w}{F_w} + \frac{l}{F} + \frac{h^2 l}{I} \right)}.$$

Максимальні напруги у вимірювальних балках і стійках визначаються так:

$$\sigma_b^x = X_b \left(\frac{1}{F} + \frac{h}{W} \right);$$

$$\sigma_s^x = \frac{X_s l_s}{2W_s}, \quad (4)$$

де W, W_s – момент опору вимірювальних балок і стійок відповідно:

$$W = \frac{2J_\delta}{\delta};$$

$$W_s = \frac{2J_s}{\delta_s}.$$

Чутливість компонента X обчислюється за розв'язком системи рівнянь (3), для якої сигнальні пружні напруги такі:

$$\sigma_{cut}^x = \frac{X_{\delta} h}{W}$$

Сила Y усю стійку навантажує рівномірно, а тому нормальні напруги розтягу в них визначаються так:

$$\sigma_s^y = \frac{Y}{8F_s}$$

Оскільки жорсткість стійок у напрямку сили Y значно перевершує жорсткість балок і шарнірів, то напругами в балках і шарнірах від Y можна знехтувати.

Момент M_z викликає деформацію стійок (рис. 5), зазнаючи вигин від моментів M_1, M_2 і розтяг (стиск) зусиллями P_1, P_2 .

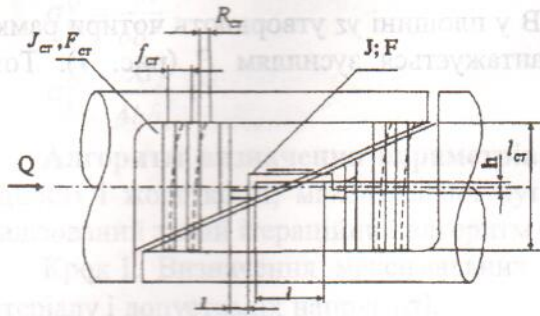


Рис. 4

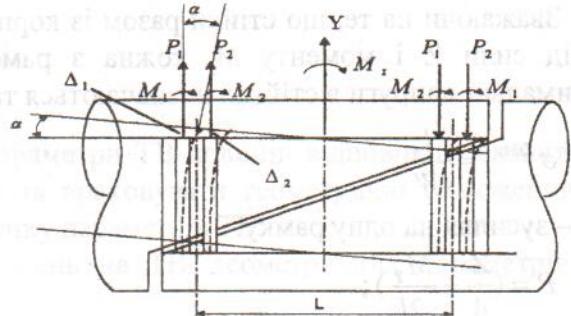


Рис. 5

Оскільки відстань між сусідніми стійками мала і їх жорсткість однакова, то

$$P_1 = P_2 = P; M_1 = M_2 = M; \Delta_1 = \Delta_2 = \Delta; \varphi_1 = \varphi_2 = \varphi$$

Звідси внутрішні силові чинники визначаються так:

$$M_z = 4PL + M; \tag{5}$$

$$\alpha = \frac{2\Delta}{L}, \tag{6}$$

де α – кут повороту:

$$\alpha = \frac{M_s}{EJ_s};$$

Δ – подовження / укорочування стійок:

$$\Delta = \frac{Pl_s}{EF_s}$$

Розв'язуючи спільно формули (5), (6), знайдемо

$$P = \frac{M_z}{4L(1 + \frac{4J_s}{F_s L^2})};$$

$$M = \frac{M_z}{8(1 + \frac{F_s L^2}{4J_s})}$$

Максимальні напруги в стійках від моменту M_z будуть такими:

$$\sigma_s^{M_z} = \frac{P}{F_s} + \frac{M}{W_s}$$

Оскільки жорсткість вимірювальних балок і шарнірів у напрямку моменту M_z у порівнянні зі стійками мала, то напругами у вимірювальних балках від моменту M_z можна знехтувати.

Оскільки момент M_x зрівноважується тільки зусиллями в стійках, то напругами у вимірювальних балках від нього теж можна знехтувати. Тоді напруги в стійках будуть визначатися так (рис. 6):

$$\sigma_s^{Mz} = \frac{Q}{F_s};$$

$$Q = \frac{M_x}{4H}, \text{ кутова деформація ТВ у напрямку моменту } M_x;$$

$$\gamma = \frac{M_x l_s}{2EH^2 F_s}.$$

Зважаючи на те, що стійки разом із корпусом ТВ у площині уз утворюють чотири рамки, то від сили Z і моменту M_y кожна з рамок навантажується зусиллям P (рис. 7). Тому максимальні напруги в стійках визначаються так:

$$\sigma_s^{ZiMy} = \frac{Pl_s}{4W},$$

де P – зусилля на одну рамку:

$$P = \left(\frac{Z}{4} + \frac{M_y}{2l} \right);$$

W – момент опору стійки щодо осі Y :

$$W = \frac{2Y_s^Y}{b}.$$

Конструкція пружної системи ТВ така, що вимірювальні балки сприймають практично лише силу Q . Тому сумарні напруги в них від усіх компонент аеродинамічного навантаження визначається формулами (4).

Оскільки стійки пружного блока ТВ чутливі по всіх компонентах, тому їх функція напруги визначається як алгебрична сума компонент, а умова міцності стійок така:

$$\sigma_{s\Sigma} = \sigma_s Q + \sigma_s Y + \sigma_s M_z + \sigma_s M_x + \sigma_s Z_i M_y \leq [\sigma],$$

де $[\sigma]$ – допустимі напруги.

Методика визначення параметрів пружного блока при найбільшій чутливості. Чутливість ТВ пропорційна сигнальним пружним напругам $\sigma_{\text{сиг}}$ та визначається за формулою (3).

Оскільки при $l_u < l, h > \delta$ значення $\frac{l_u}{l} \frac{\delta^3}{6\delta_u h^2}, \frac{\delta^2}{12h^2} \ll 0$, то чутливість ТВ визначається з такого співвідношення ($\delta_u, l, \delta, h, l_{cm}, \delta_{cm}$ показано на рис. 3):

$$\sigma_c^Q = \frac{Xh\delta}{4J(1+48\frac{h^2 l J_{CT}}{l_s^3 J})} = \frac{3Xh}{b} \frac{\delta}{\delta^3 + 48\frac{h^2 l}{l_s^3} \delta_s^3}. \quad (7)$$

Відповідно до формули (7)

$$\sigma_c = f(\delta, h, \delta_{cm}, l_{cm}, b, l),$$

але зважаючи на те, що деякі з параметрів (l_{cm}, b, l) звичайно вибираються залежно від геометричних обмежень, умов розміщення, то функція $\sigma_c = f(\delta, h, \delta_{cm})$ використовується для розрахунку з метою одержання максимальної чутливості. Варіювати параметрами δ, h, δ_{cm} відповідно до рівняння (7) для зміни чутливості пружного блока можна в широких межах. Але оптимальними будуть тільки ті значення параметрів, які відповідають максимальній чутливості, тобто максимуму функції $\sigma_{\text{сиг}} = f(\delta)$:

$$\frac{\partial \sigma_c}{\partial \delta} = \frac{3Xh}{b} \frac{\delta^3 + 48 \frac{h^2 l}{l_s^3} \delta_s^3 - \delta(3\delta^2)}{(\delta^3 + 48 \frac{h^2 l}{l_s^3} \delta_s^3)^2} = 0.$$

Звідки з урахуванням формули (7) одержано такі оптимальні співвідношення параметрів δ , h , що відповідають максимальній чутливості, сигнальним пружним напругам, тангенціальній силі Q :

$$\delta = \frac{2\delta_s}{l_s} \sqrt[3]{3h^2 l}; \quad (8)$$

$$\sigma_c^Q = \frac{Xh}{b\delta^2};$$

$$\sigma_s^Q = \frac{Xl_s}{4b\delta_s^2}.$$

Алгоритм визначення параметрів ТВ. Параметри ТВ повинні відповідати вимогам до міцності і жорсткості, максимальної чутливості та враховувати геометричні обмеження ТР. Реалізований такий ітераційний алгоритм розрахунку параметрів ТВ.

Крок 1. Визначення максимальних навантажень на ТВ, геометричних параметрів ТВ, матеріалу і допустимих напруг $[\sigma]$.

Крок 2. Вибір геометричних розмірів балок (b , l).

Крок 3. Визначення параметрів l_s , H , L , h на підставі конструктивних і геометричних обмежень ТВ.

Крок 4. Визначення δ_{cm} з такого співвідношення:

$$\delta_s^2 - A\delta_s - B = 0,$$

де $B = \frac{Xl_s}{4b[\sigma]}$;

$$A = \frac{1}{4b[\sigma]} \left[\frac{N}{2} + \frac{M_z}{L} + \frac{M_x}{M} + \frac{3l_s}{b} \left(\frac{Z}{2} + \frac{M_y}{L} \right) \right].$$

Крок 5. Визначення значення δ за формулою (8).

Крок 6. Визначення значень вихідного сигналу моста і коефіцієнтів чутливості залежно від напруги живлення моста і опори ТР.

Крок 7. Визначення деформація ТВ у напрямку сили Q :

$$f = \frac{X}{12Eb} \left(\frac{l_s}{\delta_s} \right)^3;$$

у площині Q, Y :

$$\alpha = \frac{M_z l_s}{2Eb\delta_s L^2};$$

у площині Q, Z :

$$\gamma = \frac{M_x l_s}{2EH^2 F_s}.$$

Крок 8. Визначення частоти власних коливань у напрямку сили Q за формулою:

$$\omega = \sqrt{\frac{l}{m}},$$

де l – коефіцієнт жорсткості; m – маса випробовуваної моделі:

$$l = \frac{f}{f_s} = 12Eb \left(\frac{\delta_s}{l_s} \right)^3.$$

Крок 9. Побудова номограми дозволених навантажень в області, обмеженій осями координат і прямою

$$K_1 y + K_2 M_z - [\sigma]^* = 0,$$

де $K_1 = \frac{1}{8b\delta};$

$$K_2 = \frac{1}{4Lb\delta},$$

(3) $[\sigma]^* = [\sigma] - \sigma_s^x - \sigma_s^{Mx} - \sigma_s^{ZMy}, \sigma_s^x - \sigma_s^{Mx} - \sigma_s^{ZMy}$ – напруги в стійках пружного блока.

Метод визначення максимальних напруг. Розрахунок ВЕ ТВ (багато разів статично невизначена система) здійснюється за допомогою методу деформацій, який базується на відомих співвідношеннях визначення параметрів ВЕ [2].

Максимально нормальні напруги від дії сили Y , розтягу стиску і вигину від дії моменту M_z , нормальні напруги вигину від дії моменту M_x обчислюються так (індекси визначають номер балки):

$$\sigma_1^Y = \frac{Yh_1}{8(J_1^{Z_1} + J_1^{Z_2})};$$

$$\sigma_2^Y = \frac{Yh_2}{8(J_1^{Z_1} + J_1^{Z_2})};$$

$$\sigma_1^{M_z} = \frac{M_z(2H + h_1)}{4(h_1 b_1 H^2 + J_1^{Z_1} + J_1^{Z_2})};$$

$$\sigma_2^{M_z} = \frac{M_z h_2}{4(h_1 b_1 H^2 + J_1^{Z_1} + J_2^{Z_2})};$$

$$\sigma_2^{M_x} = \frac{M_x l b_2}{8H[J_1^Y + J_2^Z + \frac{l^2}{12H} \zeta (J_1^K + J_2^K)]},$$

де h_1, h_2, b_1, b_2 – висота і ширина перерізу; $J_1^{Z_1}, J_2^{Z_2}$ – моменти інерції на вигин перетину щодо осі Z_1 і Z_2 ; H – відстань між балками; J_1^K, J_2^K – момент інерції балок на крутіння; J_1^Y – момент інерції балки 1 на вигин щодо осі Y ; ζ – модуль зрушення матеріалу ВЕ; E – модуль пружності матеріалу.

Розрахунок ВЕ від сили Z і моменту M_y аналогічний розрахунку від сили Y і моменту M_z .

Нормальні напруги вигину і розтягу (стиску), обчислені від кожного з компонентів аеродинамічного навантаження, складаються алгебрично в кутових точках прямокутного перерізу балок. Умови міцності мають вигляд

$$\sigma_1^\Sigma = \sigma_1^Y + \sigma_1^{M_z} + \sigma_1^{M_x} + \sigma_1^Z + \sigma_1^{M_y} \leq [\sigma];$$

$$\sigma_2^\Sigma = \sigma_2^Y + \sigma_2^{M_z} + \sigma_2^{M_x} + \sigma_2^Z + \sigma_2^{M_y} \leq [\sigma],$$

де $[\sigma] = \frac{\sigma_e}{n}$ – припустима напруга; σ_e – опір розриву для матеріалу ВЕ; n – коефіцієнт запасу міцності.

Тензометричні ваги завжди проектуються для конкретної задачі ЕД у заданому діапазоні аеродинамічних навантажень.

Для визначення можливості застосування конкретних даних ТВ виконують контрольний розрахунок. Для цього будуються номограми дозволених навантажень ТВ з використанням таких співвідношень (міцності найбільш навантажених балок):

$$\sigma_1^Y + \sigma_1^{M_z} + \sigma_1^{M_x} = k_1 Y + k_2 M_z + k_3 M_x = [\sigma],$$

де

$$k_1 = \frac{H_1}{8(J_1^{Z_1} + J_1^{Z_2})};$$

$$k_2 = \frac{2H + H_1}{4(h_1 b_1 H^2 + J_1^{Z_1} + J_1^{Z_2})};$$

$$k_3 = \frac{l b_1}{8H[J_1^Y + J_2^Z + \frac{l^2}{12H E} (J_1^K + J_2^K)]}.$$

Алгоритм визначення максимальних напруг реалізований в середовищі MathCAD та включає такі процедури [9–11]:

Крок 1. Вибір типу розрахунку. Якщо ТВ існують, то необхідно перейти на крок 3.

Крок 2. Підготовка вихідних даних, максимальних навантажень Q , Y , Z , M_x , констант механічних властивостей матеріалу, геометричних даних.

Крок 3. Обчислення значення навантаження M_y і навантаження P .

Крок 4. Введення значення запасу міцності і сигнальних напруг на вимірювальній балці.

Крок 5. Введення діапазону ТВ у вольтах і обчислення значення сигнальної напруги.

Крок 6. Введення значення довжини вимірювальної балки L_3 та значення діаметра ТВ D .

Крок 7. Уточнення значень даних, введення H і перехід на крок 9.

Крок 8. Виведення уточнених значень даних.

Крок 9. Введення значень геометричних параметрів (зокрема H і L_1).

Крок 10. Виведення на екран значень H_1 , H , H_2 , обчислення значень товщини рювальних балок (H_1), силових стійок (H), міцних і сигнальних напруг в балках і міцності в стійках, їх уточнення.

Крок 11. Обчислення B_4 , B_5 та виведення на екран значень B_4 , B_5 .

Крок 12. Виведення значень сумарних міцнісних напруг у стійках S_7 , сигнальних напруг E_8 , Y_7 .

Крок 13. Виведення значень коефіцієнтів чутливості для апаратури «Луч» і Computer Logger, максимального навантаження Q , Y , Z , M_x , M_y , M_z , геометричних параметрів пружного блока ТВ, міцнісної напруги в стійках від навантаження Q , Y , M_z , Z , M_y , M_x , сумарні значення міцнісної напруги в стійках, міцнісних і сигнальних напруг в балках; коефіцієнта чутливості від навантаження Q .

Крок 14. Кінець.

Використання середовища MathCAD для вирішення подібних задач пояснюється такими фактами: зручний користувальницький інтерфейс; проста реалізація алгоритмів технічних розрахунків, зручні засоби роботи з формулами, числами, графіками і текстами, досить широкий набір засобів обробки даних і розв'язання математичних задач, орієнтація на користувача, а не на програміста і т.п. [1; 10; 11]. Застосовуючи середовище MathCAD, конструктор ТВ може виконати повний цикл розрахункових і дослідницьких робіт і довести конструкцію до реального застосування, виконавши при цьому документування виконаних робіт [12].

Алгоритм проектування і доводки ТВ виражається такою послідовністю.

Крок 1. Формування вихідних даних діапазону роботи ТВ на основі технічного завдання на майбутні ЕД.

Крок 2. Вибір типу ТВ.

Крок 3. Розрахунок ТВ за вихідними даними.

Крок 4. Виготовлення ВЕ і конструктивних елементів ТВ.

Крок 5. Експериментальні дослідження ВЕ. Обробка ЕД і аналіз конструкції ВЕ. Якщо «погано», то необхідно перейти на крок 4.

Крок 6. Складання ТВ.

Крок 7. ЕД ТВ. Розв'язання прямої задачі. Обробка ЕД і аналіз конструкції ТВ. Якщо «погано», то необхідно перейти на крок 4.

Крок 8. ЕД ТВ. Розв'язання оберненої задачі. Обробка ЕД і аналіз ММ ТВ. Якщо «погано», то необхідно перейти на крок 4.

Крок 9. ЕД ТВ із використанням еталонної моделі. Обробка даних із використанням ММ ТВ, визначення похибок ТВ, порівняння з відомими значеннями аеродинамічних сил (X, Y, Z) і моментів (M_x, M_y, M_z).

Крок 10. Аналіз характеристик ТВ і ухвалення рішення про можливість їх застосування в проектних дослідженнях. Якщо «погано», то необхідно перейти на крок 2.

Крок 11. Оформлення документації на ТВ, розміщення ММ ТВ у базі даних інформаційної технології проектних досліджень.

У таблиці наведено приклад дозволених навантажень, отриманої для ТВ, попервах спроектованих для виміру сили $Y \leq 30$ кг і моментів $M_x \leq 0,12$ кгм, $M_z \leq 1,8$ кгм.

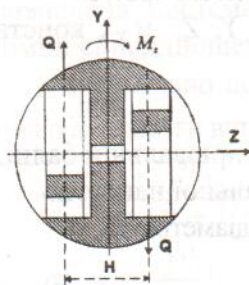


Рис. 6

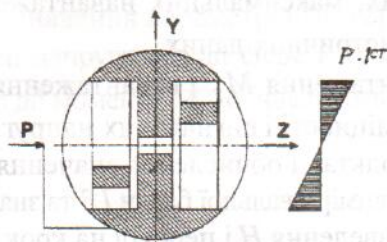


Рис. 7

Таблиця дозволених навантажень

Y, кг	M _x , кгм	M _z , кгм
56,0	0,0	4,72
50,97	0,05	4,295
45,94	0,1	3,872
40,90	0,15	3,448
35,87	0,2	3,023

Приклад застосування системи MathCAD. Інтегровані системи типу MathCAD стосовно до вирішення розглянутої задачі викликають найбільший інтерес для інженерів-дослідників, оскільки їм не треба детально володіти не тільки чисельними методами розв'язання прикладних задач, але не треба програмувати на алгоритмічних мовах програмування. Дуже зручною у цьому плані є система MathCAD [12; 13], яка підтримує всі можливості для розв'язання широкого класу прикладних задач, у тому числі і задачі розрахунку вимірювального блока внутрішньомодельних ТВ.

Послідовність формул у середовищі MathCAD для розв'язання задачі розрахунку вимірювального блока внутрішньомодельних ТВ, вихідні дані, результати виконаних розрахунків у числовому вигляді та графічні залежності результатів розрахунку, що істотно для аналізу ТВ, подано у роботі [14].

Наведений приклад демонструє наочність реалізації алгоритму розрахунку вимірювального блока внутрішньомодельних ТВ, що є важливим критерієм застосування системи для інженерів-випробувачів, особливо в контексті можливості модифікації і зміни алгоритму обчислень або включення в розрахунок необхідних на їх погляд параметрів.

Висновок. Розроблено методику оптимізованого розрахунку на міцність і чутливість блока застосовують для виміру силу лобового опору, виконаного у вигляді багатоланкової статично невизначеної рами і двох вимірювальних балок.

Розроблений, налагоджений і випробуваний алгоритм у середовищі MathCAD розрахунку на міцність і чутливість пружного блока указаної схеми дозволяє розрахувати геометричні розміри елементів конструкції вимірювального пружного блока за заданими геометричними і міцнісними обмеженнями та аеродинамічним навантаженням; зробити перевірний розрахунок вимірювального блока готових ТВ на міцність і чутливість за заданими геометричними розмірами і аеродинамічними навантаженнями.

Кількість спеціалістів, які зайняті в ЕД, скорочується в два-три рази; ММ обґрунтовується, точність вимірювань суттєво поліпшується, результати добре узгоджуються з ЕД.

Список літератури

1. Зінченко В. П. Методологія проектування первинних джерел інформації // Наук. вісті НТУУ «КПІ». – 2001. – № 5. – С. 69–82.
2. Зінченко В. П., Зінченко Н. П. Методика проектування внутрішньомодельних тензовагів // Вестн. НТУУ «КПІ»: Машиностроение. – 1999. – Вып. 34. – С. 319–328.

3. Зинченко В.П. Автоматизация экспериментальных исследований в аэродинамической трубе // УСиМ, – 1989. – № 1. – С. 95–99.
4. Зинченко В.П. Обобщенный метод расчета аэродинамических весов консольного типа // УСиМ. – 2001. – № 6.
5. Зинченко В.П. Обобщенный метод расчета эластичности весовых элементов с упругим шарниром // УСиМ. – 2001. – № 5.
6. Зинченко В.П., Радченко С.Г., Зинченко Н.П. Методика расчета шестикомпонентных тензометрических аэродинамических весов // Пр. ІЕД НАН України. – К.: ІЕД НАН України, 2001. – С. 108–115.
7. Зинченко В. П., Радченко С.Г., Зинченко Н.П. Метод расчета эластичности весовых элементов с упругим шарниром // Вісн.НАУ. 2001. – № 3(10). – С. 99 – 108.
8. Зинченко В.П., Радченко С.Г. Метод моделирования многокомпонентных тензометрических измерительных систем. – Киев, 1993. – 24 с. (Препринт. / АН Украины. Ин-т кибернетики им. В.М. Глушкова; 93–20).
9. Зинченко В.П. Метод моделирования многокомпонентных измерительных систем // Тез. докл. Междунар. конф. «Методы и средства экспериментальных исследований в авиации». – Жуковский (Россия): ЦАГИ, 1993. – С. 2–21.
10. Дьяконов В.П. Справочник по MathCAD PLUS 7.0 PRO. – М.: СК Пресс, 1998. – 352 с.
11. Очков В.Ф. MathCAD 7 Pro для студентов и инженеров. – М.: КомпьютерПресс, 1998. – 384 с.
12. Зинченко В.П., Зинченко С.В., Муха І.П. Застосування MathCAD в експериментальних дослідженнях дії зовнішнього середовища на технічний об'єкт // Сб. докл. III Междунар. конф. «Гиротехнології, навігація, управління движением и конструирование подвижных объектов». – К.: НТУУ «КПИ», 2001. – С. 319 – 326.
13. Зинченко В.П., Зинченко С.В., Полиновский В.В., Муха І.П. Алгоритм расчета характеристик весовых элементов и его реализация в среде MathCAD // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2001. Вип. № 8. – Хмельницький: Технол. ун-т Поділля, 2001. – С. 436–440.
14. Зинченко В.П., Зинченко С.В., Муха І.П. Алгоритм полиномиальной регрессии и его реализация в среде MathCAD // Нові комп'ютерні засоби, обчислювальні машини та мережі. – К.: Ін-т кибернетики ім. В.М. Глушкова, 2001.

Стаття надійшла до редакції 10. 04. 02.

УДК 629.735.33

О.А. Шевченко, канд. техн. наук, доц.

ОСОБЛИВОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ НА ЕТАПІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЙ ІЗ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

Запропоновано концепцію розв'язання проблеми оптимізації технології ремонту елементів літальних апаратів із композиційних матеріалів, які отримали експлуатаційні пошкодження за допомогою програмного комплексу. Визначено методи, на яких повинен базуватися програмний комплекс, та розглянуто особливості його роботи на етапі експлуатації.

Композиційні матеріали (КМ) все більше і більше використовуються в конструкціях сучасних літаків завдяки їх високій питомій міцності та стійкості до впливу різних умов експлуатації. Разом з тим полімерні КМ (ПКМ) досить чутливі до ударів, від яких можуть виникати значні пошкодження. Складність технології виробництва елементів з ПКМ іноді призводять до виникнення технологічних дефектів, які можуть суттєво впливати на подальшу поведінку конструкції.

Дефекти та пошкодження в елементах авіаційних конструкцій з КМ виникають у процесі не тільки виготовлення, але і експлуатації авіаційної техніки. Детальний опис дефектів і пошкоджень, які зустрічаються в елементах конструкцій з ПКМ, надано в роботах [1; 2]. За функціональним походженням вони поділяються на дві групи: