

УДК 515.2

В.І. Мамчук,

В.Г. Демидко, канд. техн. наук, доц.,

М.О. Ходак, канд. техн. наук, доц.

**МОДЕЛЮВАННЯ ПЕРЕРІЗІВ І ОБ'ЄМІВ ПЕРЕХІДНИХ ПОВЕРХОНЬ  
ПОВІТРОЗАБІРНИКІВ АВІАЦІЙНИХ ДВИГУНІВ**

*Розглянуто моделювання поверхонь переходу повітрозабірників авіаційного газотурбінного двигуна від прямокутного перерізу на вході до кругового перерізу на виході із застосуванням проміжних закономірно змінних перерізів з використанням комп'ютерних технологій.*

**Вступ.** Компонування частин літака, агрегатів, окремих вузлів та визначення їх об'ємів є актуальними практичними завданнями, які необхідно вирішувати конструкторам при проектуванні сучасних літальних апаратів (ЛА). Оптимальне вирішення таких задач дає можливість зменшувати лобовий опір ЛА, підвищити економічність авіаційного двигуна, надійність і міцність конструкції з одночасним зменшенням їх вагових характеристик.

**Характеристика, геометричне та математичне моделювання повітрозабірників.** В основі сучасної конструкторської комп'ютерної моделі літака закладено його аеродинамічну модель, яка включає всі складові зовнішніх геометричних форм поверхні ЛА і деякі будівельні осі та площини.

Для оптимального розв'язання компоувальних задач необхідно вміти моделювати розподілення об'ємів простору складових частин і елементів каркаса ЛА в цілому.

Об'ємно-геометричні параметри складових каркасних частин ЛА, в свою чергу, є вихідними даними для виконання уточнених аеродинамічних, вагових, міцносних, економічних та інших розрахунків і основою для ув'язки в подальшому конструктивних параметрів з експлуатаційними.

Крім цього, при заданні і розподілі генеральним конструктором об'ємів складових ЛА конструкторські групи з конструювання різних частин і систем літака повинні вписатися в них зі своїм обладнанням та конструктивними рішеннями. Для цього необхідно вміти моделювати як зовнішні, так і внутрішні геометричні форми складових частин каркаса ЛА, в тому числі і повітрозабірники (ПЗ) газотурбінних двигунів (ГТД).

У зв'язку з цим моделювання об'ємів ПЗ є актуальною задачею і дає можливість вирішувати ряд компоувальних питань, оскільки поверхні ПЗ функціонально зв'язані з поверхнями інших частин літака і розташовані серед них, наприклад, у крилах ЛА, його фюзеляжі або одночасно займають частину об'ємів як в крилі, так і у фюзеляжі літака.

У процесі розв'язання компоувальних питань повинні бути витримані окремі компоувальні вимоги: неперетинання з поверхнями інших агрегатів літака, визначення мінімально допустимих проміжків між оточуючими поверхнями інших агрегатів. Крім цього, взаємна ув'язка поверхонь вимагає локальних змін їхньої форми та керування нею, що, в свою чергу, потребує розробки спеціальних алгоритмів керування формою каналової поверхні ПЗ авіаційного ГТД, яка повина бути описана математично в загальному вигляді. Таке формулювання приводить до необхідності вирішення якісно нових задач, а саме можливості автоматизованого об'ємно-просторового компоування каналових поверхонь ПЗ авіаційних ГТД складних геометричних форм. Неавтоматизоване розв'язання таких задач досить трудомістке. У зв'язку з цим розглянемо задачу графічного моделювання обводів характерних перерізів (ХП) ПЗ ГТД за наперед заданими геометричними параметрами форми канала з використанням AutoCAD 14 і комп'ютерів.

У загальному вигляді обводи як внутрішніх, так і зовнішніх форм ПЗ ГТД мають складні геометричні форми, але більшість з них піддаються геометричному моделюванню кривими другого порядку (коло, еліпс, гіпербола та парабола відповідно):

$$x^2 + y^2 = r^2; \quad \frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1; \quad \frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} = 1; \quad y^2 = 2px. \quad (1)$$

Оскільки контури мають складну геометричну форму, то для забезпечення високої точності геометричного моделювання і розрахунку пропонується комбінований спосіб апроксимації. Він полягає в тому, що складна крива обводу за наперед заданими формами розбивається на окремі ділянки, найбільш близькі до того чи іншого закону розподілу кривизни профіля, що описуються комбінацією кускових другого порядку, а ступінь їхньої випуклості і тип кривої визначаються за дискримінантом  $d$ . Якщо  $d > 0,5$ , то маємо дугу гіперболи, якщо  $d < 0,5$  – дугу еліпса.

При цьому зрощування окремих ділянок виконується зі збереженням похідної (дотичної до кривої) або з додержанням одного і того ж радіуса кривизни в місці зрощування. Після цього з врахуванням установлених значень дискримінанта  $d$  і виду кривих другого порядку для підвищення точності геометричного моделювання обводу пропонуються ці окремо взяті ділянки кривих другого порядку перебудувати з використанням того чи іншого відомого геометричного способу або прийому побудови.

Для скорочення часу і підвищення точності викреслювання обводів ХП ПЗ ГТД пропонується цю процедуру проводити із застосуванням AutoCAD 14 [1].

Другою важливою розрахунковою геометричною характеристикою ХП ПЗ ГТД є визначення його площі. Для обводу складної форми площа може бути розрахована за формулою:

$$S_{\text{ХП}} = 2 \int_0^{x_2} y dx = 2 \left( \int_0^{x_1} y_1 dx + \int_{x_1}^{x_2} y_2 dx \right). \quad (2)$$

Для підрахунку площі за формулою (2) необхідно мати конкретний вид підінтегральних функцій зі своїми коефіцієнтами, що відповідають апроксимованим ділянкам обводу.

Оскільки підінтегральні функції формули (2) з урахуванням рівнянь (1) мають складний вигляд, то обчислення пропонується проводити на комп'ютері.

Для обчислень площ ХП за формулою (2) пропонується застосовувати програми числового інтегрування за методом Ньютона–Котеса або за методом Чебишева, побудованих на мові програмування Бейсик [2].

Для вирішення компоувальних задач однією з найважливіших розрахункових геометричних характеристик є визначення об'єму, який займатиме поверхня ПЗ авіаційного ГТД у загальній конструкції ЛА.

Розглянемо одну із задач графоаналітичного моделювання об'єму перехідного каналу ПЗ ГТД, коли він на вході має форму каналу у вигляді прямокутника, а на виході – форму кола, діаметр якого дорівнює діаметру входу компресора ГТД, а характерні перерізи між ними мають закономірно змінні форми.

У загальному вигляді формула для визначення об'єму ПЗ може бути записана як

$$V_{\text{ПЗ}} = \int_0^l S_{\text{ПП}} dx. \quad (3)$$

Проведемо дослідження зміни площі поперечного перерізу  $S_{\text{ПП}}$  внутрішньої поверхні ПЗ ГТД:

$$S_{\text{ПП}} = 4k(x)ab(x), \quad (4)$$

де  $k(x)$  – коефіцієнт, який змінюється від 1 при  $x = 0$  до  $\pi/4$  при  $x = l$ ;  $a$  – піввісь перерізу, паралельна осі аплікат  $OY$ , яка залишається сталою на протязі всієї ділянки ПЗ, довжина якої  $l$ ;  $b(x)$  – більша піввісь еліптичної твірної, яка змінюється в залежності від  $x$ .

При цих умовах площа поперечного перерізу  $S_{III}$  є складна функція, що залежить від двох змінних.

Якщо в першому наближенні прийняти, що  $b(x)$  та  $k(x)$  змінюються на відрізьку  $(0; l)$  лінійно, то з урахуванням крайових умов для  $b(x)$ :

$$\begin{cases} b(0) = b; \\ b(l) = a. \end{cases}$$

можна знайти закон зміни  $b(x)$ :

$$b(x) = \frac{(l-x)(b-a)}{l} + a. \quad (5)$$

Враховавши крайові умови

$$k(x) = \begin{cases} k(0) = l; \\ k(l) = \frac{\pi}{4}; \end{cases}$$

закон його зміни має вигляд

$$k(x) = \frac{(l-x)(1-\frac{\pi}{4})}{l} + \frac{\pi}{4}. \quad (6)$$

Підставивши рівняння (5) і (6) у формулу (4), одержимо вираз для обчислення площ поперечних перерізів  $S_{III}$ :

$$S_{III} = \frac{a}{l^2}(x^2(b-a)(4-\pi) - xl(8b - \pi b - 4a) + 4bl^2). \quad (7)$$

Як видно з рівняння (7), площі поперечних перерізів  $S_{III}$  змінюються тільки залежно від аргумента  $x$ . Тому об'єм  $V_{ПЗ}$  перехідного каналу ПЗ авіаційного ГТД залежить від змінної  $S_{III}(x)$  та довжини каналу  $l$ . Підставивши вираз (7) у формулу (3) та виконавши відповідні перетворення, остаточно одержимо:

$$V_{ПЗ} = \int_0^l S_{III} dx = \int_0^l \frac{a}{l^2}(x^2(b-a)(4-\pi) - xl(8b - \pi b - 4a) + 4bl^2) dx = \frac{al}{6}((8+\pi)b + 2(2+\pi)a).$$

Запропонований підхід з визначення об'ємів ПЗ легко поширюється і на ті з них, які мають інші конфігурації, тобто описуються іншими кривими на вході і виході та на комбінації їх.

**Висновок.** Запропоновано практично застосовний підхід з геометричного та математичного моделювання ПЗ двигунів. За наведеною методикою розраховано один з практичних варіантів конструкції ПЗ та одержано робочу формулу загального вигляду для визначення його об'єму. Наведена методика розрахунку об'ємів ПЗ дозволяє з достатньою для практичних цілей точністю визначати об'єми для досить широкого класу типів.

#### Список літератури

1. Романычева Э.Т., Сидорова Т.М., Сидоров С.Ю., Трошина Т.Ю. AutoCAD 14. – М.: ДМК, 1999. – 510 с.
2. Фокс А., Пратт М. Вычислительная геометрия. Применение в проектировании и на производстве. – М.: Мир, 1982. – 304 с.

Стаття надійшла до редакції 12.10.01.