

рів з використанням такого методу дає змогу істотно зменшити кількість розрахунків і підвищити точність методу. Розроблене таким чином рівняння витoku з кабіни дає можливість установити залежність між параметрами за умови їх зміни за політропою в усьому діапазоні досліджуваного проміжку часу. Розроблений метод описує ширший клас розв'язуваних задач, адже частинним розв'язком, наприклад, є ізотермічний процес. Для моделі відповідно до роботи [41] залежність між параметрами газу визначають для ізотермічного процесу тільки за початковим і кінцевим значеннями параметрів повітря в кабіні за досліджуваний проміжок часу. Добуток μF приймається постійною величиною, що призводить до збільшення похибки. Модель витoku не враховує статистичні характеристики зміни параметрів газу у відсіку за досліджуваний проміжок часу. Відносна простота такої методики дає змогу використовувати її в інженерних розрахунках, але при цьому знижується точність розрахунку витoku. Використання такої методики для проведення числових розрахунків ускладнене через те, що коефіцієнт витрати є змінною величиною і зазнає розриву в області критичних тисків газу.

Результати проведених числових досліджень ГК РРЛ у відповідності з розробленим методом наведено в додатку Б.

2.12. Встановлення функціональної залежності між параметрами газодинамічних процесів у відсіку на основі тіла змінної маси

Масообмінні і теплові процеси у відсіку представимо на основі тіла змінної маси в об'ємі (V), в який втікає $(G)_1$ і витікає $(G)_2$ повітря. Зовні і від внутрішніх джерел тепла здійснено підведення енергії (Q). Рівняння витікання повітря з об'єму будемо розробляти у вигляді залежності тиску повітря від часу, параметрів повітря всередині об'єму і поза об'ємом, які впливають на параметри повітря усередині об'єму.

При виведенні основних рівнянь прийняті такі допущення:

1. В об'ємі є повітряне середовище, яке подано у вигляді ідеального і досконалого газу;

2. Об'єм зберігає свої розміри в часі;
3. Питомі теплоємності повітря мають постійні значення в часі і об'ємі;
4. Витікання повітря з об'єму розглянуто як послідовність квазівстановлених процесів;
5. Розподіл параметрів повітря за об'ємом приймаємо рівномірним;
6. Відсутність у рухомому газі завихрення;
7. Не враховано інерційні сили потоку;
8. Не розглянуто взаємодію потоку з огорожувальними поверхнями досліджуваного об'єму;
9. Для багатооб'ємного відсіку не проведено підведення тепла зовні через дотичні стінки суміжних об'ємів.

Зміну тиску (P), температури (T), густини (ρ), маси (m) повітря в об'ємі (V) відсіку визначимо відповідно до рівняння стану. Диференціюємо рівняння стану за часом (τ):

$$\frac{dP}{d\tau} = \frac{d(\rho RT)}{d\tau} = \frac{R}{V} \frac{d(mT)}{d\tau}, \quad (2.15)$$

На підставі теорії термодинаміки тіла змінної маси відповідно до роботи [38] розглянемо процеси газу у відсіку як масообмінну і теплову взаємодію повітря в об'ємі з навколишнім середовищем або суміжними відсіками. На підставі енергетичного балансу запишемо рівняння:

$$\frac{dQ}{d\tau} + C_p G_n T_n = C_p G T + C_v \frac{d(Tm)}{d\tau}, \quad (2.16)$$

де C_p – питома теплоємність повітря за постійного тиску, Дж / (кг К);

C_v – питома теплоємність повітря за постійного об'єму, Дж / (кг К).

Після підстановки рівняння (2.15) в (2.16) і перетворень маємо:

$$\frac{dP}{d\tau} = \frac{R}{C_v V} \left(\frac{dQ}{d\tau} + C_p G_1 T_1 - C_p G_2 T \right). \quad (2.17)$$

Рівняння (2.17) встановлює залежність зміни тиску повітря у відсіку в часі в залежності від параметрів повітря, яке втікає і витікає, параметрів повітря в об'ємі, зовнішнього підведеного тепла. Для розв'язання диференціального рівняння необхідно знати зміну параметрів Q , G_1 , G_2 і T в часі. Підведене до відсіку тепло визначають залежно від внутрішніх (Q_{en}) і зовнішніх (Q_n) джерел енергії, які надходять до відсіку: $\frac{dQ}{d\tau} = Q_{en} + Q_n$.

Для інженерного аналізу багатьох практичних завдань особливий інтерес становить частинний розв'язок рівняння (2.17) за $\frac{dP}{d\tau} = 0$, коли $P = const$. У такому разі можливо отримати критерій підтримання постійної температури повітря у відсіку ($T = const$):

$$\frac{\frac{dQ}{d\tau} + C_p G_1 T_1}{C_p G_2 T} = const. \quad (2.18)$$

Відповідно до критерію встановлено режим зміни тиску і температури повітря у відсіку під час підведення і відведення повітря. На підставі критерію визначаємо стаціонарний і нестаціонарний режим зміни параметрів газу у відсіку. За $Q = const$, коли $\frac{dQ}{d\tau} = 0$, постійну температуру в об'ємі підтримують за значення критерію

$$\frac{G_1 T_1}{G_2 T} = const.$$

Для відсіку, в якому температура є змінною величиною ($T = var$), запишемо рівняння стану, нерозривності в диференціальному вигляді, і після деяких перетворень з урахуванням рівняння (2.17) отримаємо рівняння зміни температури газу у відсіку:

$$\frac{dT}{d\tau} = \frac{1}{C_v \rho V} \left(\frac{dQ}{d\tau} + C_p G_1 T_1 - C_p G_2 T \right) - \frac{T}{\rho} \frac{G_1 - G_2}{V}. \quad (2.19)$$

Виведення рівнянь (2.17), (2.19) і визначення змінних Q , G_1 , G_2 , T наведено в роботі [260]. Проведено дослідження рівняння і встановлені нові закономірності зміни параметрів повітря у відсіку. За показника політропи $n=1$, $T = \text{const}$ і $Q = \text{const}$ рівняння (2.17) перетвориться до залежності відповідно до роботи [41]. Отже, рівняння є більш загальним і описує широке коло розв'язуваних практичних задач.

На підставі рівнянь (2.17), (2.19) можна визначити зміну тиску і температури повітря у відсіку під час підведення, відведення повітря і енергії. Розглянемо зміну параметрів газу для кабіни, яка включає декілька відсіків (об'ємів). Принципова схема об'ємів наведена на рис. 2.7. Відповідно до роботи [260] запишемо для i -того відсіку зміна тиску (P_i), температури (T_i) газу і поверхні обладнання ($T_{\text{об'ї}}$), зовнішньої підведеної (відведеної) енергії (Q_i) від часу (τ) в залежності від кількості людей (r), тепловиділення однієї людини (q_{ji}), кількості радіоелектронних блоків (m), електричної потужності, споживаної обладнанням (W_{ji}), ККД обладнання (η_{ji}),

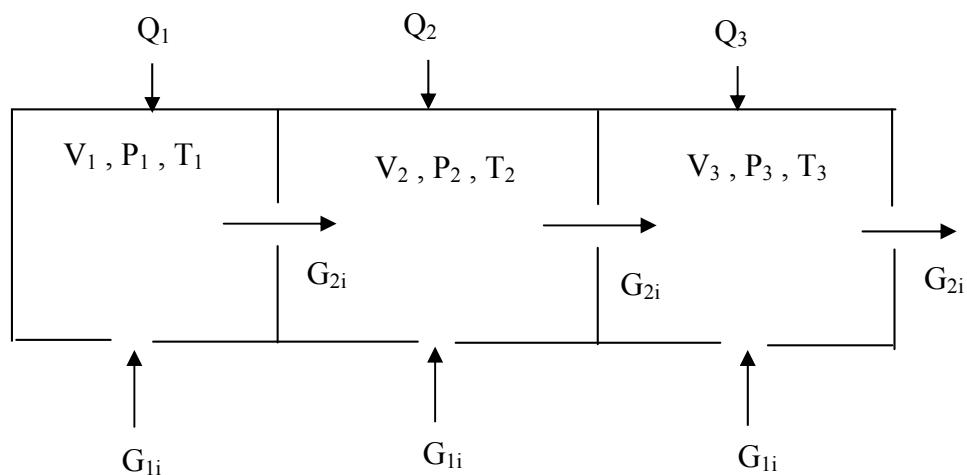


Рисунок 2.7. Розрахункова структурна схема багатооб'ємної кабіни: Q – підведена (відведена) енергія для i -го відсіку; V , P , T – об'єм, тиск і температура відповідно для i -го відсіку; G_{1i} – витрата підведеного газу в i -й відсік; G_{2i} – витрата відведеного газу з i -го відсіку

кількості обладнання (k), коефіцієнта тепловіддачі поверхні обладнання (α_{ji}), площі поверхні обладнання, яка віддає тепло (S_{ji}), кількості тепла, яке проникає всередину об'єму (c), коефіцієнта теплопередачі (K_{ji}), площі теплопередавальної поверхні (F_{ji}), температури зовнішнього повітря (T_{ni}), теплоємності обладнання ($C_{o\delta ji}$), маси обладнання (M_{ji}), кількості джерел підведеного (n) і відведеного (s) газу з $G_{1ji}, T_{1ji}, G_{2ji}, T_{2ji}$:

$$\frac{dP_i}{d\tau} = \frac{R}{C_g V_i} \left(\frac{dQ_i}{d\tau} + \sum_{j=1}^n C_p G_{1ji} T_{1ji} - \sum_{m=1}^s C_p G_{2mi} T_{2mi} \right),$$

$$\frac{dT_i}{d\tau} = \frac{1}{C_v \rho_i V_i} \left(\frac{dQ_i}{d\tau} + \sum_{j=1}^n C_p G_{1ji} T_{1ji} - \sum_{m=1}^s C_p G_{2mi} T_{2mi} \right) - \frac{T_i}{\rho_i} \frac{\sum_{j=1}^n G_{1ji} - \sum_{m=1}^s G_{2mi}}{V_i},$$

$$\frac{dQ_i}{d\tau} = \sum_{j=1}^r q_{ji} + \sum_{j=1}^m W_{ji} (1 - \eta_{ji}) + \sum_{j=1}^k \alpha_{ji} S_{ji} (T_{o\delta ji} - T_i) + \sum_{j=1}^c K_{ji} F_{ji} (T_{ni} - T_i),$$

$$C_{o\delta ji} M_{ji} \frac{dT_{o\delta ji}}{d\tau} = \alpha_{ji} S_{ji} (T_i - T_{o\delta ji}), \quad j = 1, \dots, k. \quad (2.20)$$

Для розв'язання рівнянь (2.20) початковими умовами являються: $\tau = 0$, $P_{\tau=0} = P_{\text{поч}}$, $T_{\tau=0} = T_{\text{поч}}$, $Q_{\tau=0} = Q_{\text{поч}}$, $T_{\text{об } \tau=0} = T_{\text{об поч}}$. Визначення тиску повітря в об'ємі в часі зводиться до розв'язання системи диференціальних рівнянь. Аналіз здобутих результатів свідчить про перевагу використання енергетичного рівняння. Розроблені рівняння витікання повітря з кабіни на підставі закону збереження енергії є узагальненим рівнянням і описує ширший клас розв'язуваних задач. Розроблені критерії дають можливість визначити режим течії і скоротити обсяги числових розрахунків.

Проведено зіставлення результатів розрахунку відповідно до (2.20) і експериментом. У разі зміни тиску у відсіках ГК легкого воєнно-транспортного літака (ЛВТЛ) відповідно до КЛЕ [290] розроблене рівняння відображає характер зміни тиску повітря з максимальною похибкою 5,6 %. Відповідно до критерію, в кабіні екіпажу підтримували температуру повітря з похибкою не більше 7,4 %, що