

літропи і визначення значень статистичних критеріїв розроблюваної моделі. Значення показника політропи є оптимальним якщо розроблена модель має мінімальні значення статистичних критеріїв і адекватно описує досліджуваний процес.

2.9. Визначення параметрів газу у відсіку на підставі закону збереження енергії

Під час витікання повітря з одного відсіку з параметрами $P_1, \rho_1, T_1, P_{01}, \rho_{01}, T_{01}$ до іншого $(P_2, \rho_2, T_2, P_{02}, \rho_{02}, T_{02})$ з підведенням (відведенням) (dq) елементарної енергії і виконанні зовнішньої елементарної роботи (dl) зміну параметрів повітря описуємо на підставі закону збереження енергії в такому вигляді:

$$dq - dl = d\left(i_0\right) = d\left(u + \frac{P}{\rho} + \frac{w^2}{2}\right). \quad (2.9)$$

Зміна параметрів повітря між відсіками відбувається відповідно до рівняння політропи. Якщо перейти до кінцевих величин зміни параметрів повітря, то з рівняння (2.9) можна визначити швидкість повітря у другому відсіку:

$$w_2 = \sqrt{2[q - l + C_p(T_{01} - T_2)]}, \quad (2.10)$$

де T_{01} – температура повітря в загальмованому потоці в першому відсіку;

T_2 – температура рухомого повітря у другому відсіку.

При виведенні рівняння передбачено, що в процесі зміни параметрів газу в розглянутій ТДС відбувається підведення (відведення) енергії і виконується зовнішня робота. Використаємо рівняння політропи для двох станів повітря і умову виконання змінного значення правої частини рівняння політропи. Визначимо витрату повітря через параметри гальмування в такому вигляді:

$$G_2 = F_2 \left(\frac{A_1}{A_2} \right)^{\frac{1}{n}} \frac{P_{01}}{RT_{01}} \left(\frac{P_2}{P_{01}} \right)^{\frac{1}{n}} w_2, \quad w_2 = \sqrt{2 \left\{ q - l + C_p T_{01} \left[1 - \left(\frac{A_2}{A_1} \right)^{\frac{1}{n}} \left(\frac{P_2}{P_{01}} \right)^{\frac{n-1}{n}} \right] \right\}} \quad (2.11)$$

Частинні розв'язки рівняння (2.11) наведено в роботах [286, 299]. У відповідності з роботами [40, 41, 43, 83, 184, 185] при визначенні витрати газу необхідно використовувати коефіцієнт витрати (μ). Для оцінювання впливу коефіцієнта витрати на результати розрахунку відповідно до рівняння (2.11) необхідно провести додаткові дослідження.

Швидкість газу в залежності від об'ємів відсіків (V_1, V_2), маси газу в відсіках (m_1, m_2) і густини газу (ρ_{01}, ρ_2) визначаємо за рівнянням:

$$w_2 = \sqrt{2 \left[q - l + C_p T_{01} \left(1 - \frac{A_2}{A_1} \left(\frac{\rho_2}{\rho_{01}} \right)^n \frac{m_1 V_2}{m_2 V_1} \right) \right]}. \quad (2.12)$$

Для швидкості повітря, яка дорівнює швидкості звуку, критичне ставлення обсягів і площ (для каналу площею і довжиною) буде визначатися відповідно до запропонованих рівнянь:

$$\left(\frac{V_2}{V_1} \right)_{кр} = \frac{A_1 m_2}{A_2 m_1} \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k}{1-k}} \left\{ 1 - \frac{1}{C_p T_{01}} \left[\left(\frac{w_2}{2} \right)_{кр}^2 - q + l \right] \right\},$$

$$\left(\frac{F_2}{F_1} \right)_{кр} = \frac{A_1 m_2 H_1}{A_2 m_1 H_2} \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k}{1-k}} \left\{ 1 - \frac{1}{C_p T_{01}} \left[\left(\frac{w_2}{2} \right)_{кр}^2 - q + l \right] \right\}.$$

Рівняння (2.10), (2.11), (2.12) є більш загальними, адже з цих рівнянь можуть бути отримані частинні розв'язки. Наприклад, за виконання умов $A_1 = A_2, P_{01} = P_1, q = 0, l = 0, \mu = 1, n = k = 1,4$ розроблені рівняння перетворюються до

рівнянь відповідно до робіт [3, 36, 38, 41]. Рівняння (2.11) порівняно з рівнянням (2.8) і роботами [3, 6, 9, 36, 38, 40, 41, 43, 81, 85, 184] враховує кількісну оцінку підведеної (відведеної) енергії і зовнішньої роботи.

Зміна витрати повітря у відсіку визначимо за формулою:

$$dG_2 = w_2 F_2 d\rho_2 + \rho_2 F_2 dw_2 + \rho_2 w_2 dF_2. \quad (2.13)$$

На зміну витрати повітря у відсіку впливають початкові значення швидкості (w_2), площі (F_2), густини (ρ_2) та їх зміни ($d\rho_2, dw_2, dF_2$). Зміну площі отвору (dF_2) задають або визначають за результатами експерименту.

Розглянемо витікання газу з 1-го відсіку з параметрами P'_{01}, T'_{01}, w_1 в другий (P'_{02}, T'_{02}, w_2) при зміні параметрів газу по політропі зі змінним значенням правої частини рівняння політропи і при наявності пульсацій тиску (P'_e), температури (T'_e) і густини (ρ'_e) газу в відсіках 1 і 2 ($P'_{e2}, T'_{e2}, \rho'_{e2}$). У відсіках виконуються умови: $P'_{01} = \text{var}, T'_{01} = \text{var}, P'_2 = \text{var}$. Встановлено залежності:

$$\rho_2 = \left(\frac{A_1}{A_2}\right)^{\frac{1}{n}} \frac{S1}{R S3} \left(\frac{S2}{S1}\right)^{\frac{1}{n}}, \quad w_2 = \sqrt{2 \left\{ q - l + C_p S3 \left[1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^{\frac{1}{n}} \left(\frac{S2}{S1}\right)^{\frac{n-1}{n}} \right] \right\}}, \quad S1 = P'_{01} + P'_e,$$

$$S2 = P'_2 + P'_{e2}, \quad S3 = T'_{01} + T'_e, \quad d\rho_2 = \left(\frac{A_1}{A_2}\right)^{\frac{1}{n}} \frac{S1}{R (S3)^2} \left(\frac{S2}{S1}\right)^{\frac{1}{n}} \left\{ S3 \left[\frac{n-1}{n} \right] d(S1) + S4 \right\},$$

$$S4 = \frac{1}{n} \frac{S1}{S2} d(S2) - S1 d(S3), \quad dw_2 = \frac{1}{w_2} \left\langle q - l + C_p \left\{ \left[1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^{\frac{1}{n}} \left(\frac{S2}{S1}\right)^{\frac{n-1}{n}} \right] d(S3) - CC \right\} \right\rangle,$$

$$CC = \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^{\frac{1}{n}} \frac{n-1}{n} S3 \left(\frac{S2}{S1}\right)^{-\frac{1}{n}} \left(\frac{1}{S1}\right)^2 [S1 d(S2) - S2 d(S1)].$$

На підставі отриманих залежностей представляється можливим отримати наступні

частинні розв'язки:

1. При відсутності пульсацій тиску газу маємо (w_2 визначається по (2.11)):

$$\rho_2 = \left(\frac{A_1}{A_2}\right)^{\frac{1}{n}} \frac{P_{01}}{RT_{01}} \left(\frac{P_2}{P_{01}}\right)^{\frac{1}{n}}, \quad d\rho_2 = \left(\frac{A_1}{A_2}\right)^{\frac{1}{n}} \frac{1}{RT_{01}^2} \left(\frac{P_2}{P_{01}}\right)^{\frac{1}{n}} \left\{ T_{01} \left[\frac{n-1}{n} dP_{01} + \frac{1}{n} \frac{P_{01}}{P_2} dP_2 \right] - P_{01} dT_{01} \right\},$$

$$dw_2 = \frac{1}{W_2} \left\langle dq - dl + C_p \left\{ \left[1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^{\frac{1}{n}} \left(\frac{P_2}{P_{01}}\right)^{\frac{n-1}{n}} \right] dT_{01} - ww \right\} \right\rangle,$$

$$ww = \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^{\frac{1}{n}} \frac{n-1}{n} T_{01} \left(\frac{P_2}{P_{01}}\right)^{-\frac{1}{n}} \left(\frac{1}{P_{01}}\right)^2 [P_{01} dP_2 - P_2 dP_{01}].$$

2. При відсутності пульсацій газу з постійним значенням правій частині рівняння політропи і $P_{01} = const$, $P_2 = var$:

$$\rho_2 = \frac{P_{01}}{RT_{01}} \left(\frac{P_2}{P_{01}}\right)^{\frac{1}{n}}, \quad w_2 = \sqrt{2 \left\{ q - l + C_p T_{01} \left[1 - \left(\frac{P_2}{P_{01}}\right)^{\frac{n-1}{n}} \right] \right\}},$$

$$d\rho_2 = \frac{1}{n} \frac{1}{RT_{01}} P_{01}^{1-\frac{1}{n}} P_2^{-\frac{1}{n}} dP_2, \quad dw_2 = \frac{1}{W_2} \left[dq - dl - C_p T_{01} P_{01}^{\frac{1-n}{n}} \frac{n-1}{n} P_2^{-\frac{1}{n}} dP_2 \right].$$

3. При відсутності пульсацій газу з постійним значенням правій частині рівняння політропи і $P_{01} = var$, $P_2 = const$ (W_2 по другому частинному розв'язку)

$$d\rho_2 = \frac{1}{R} P_2^{\frac{1}{n}} \frac{1}{T_{01}^2} P_{01}^{-\frac{1}{n}} \left[T_{01} \frac{n-1}{n} dP_{01} - P_{01} dT_{01} \right],$$

$$dW_2 = \frac{1}{W_2} \left\{ dq - dl - C_p \left\{ \left[1 - \left(\frac{P_2}{P_{01}}\right)^{\frac{n-1}{n}} \right] dT_{01} + \frac{n-1}{n} \left(\frac{P_2}{P_{01}}\right)^{\frac{n-1}{n}} \frac{T_{01}}{P_{01}} dP_{01} \right\} \right\}.$$