

4. Ахметзянов А. М., Дубравский Н. Г., Тунаков А. П. Диагностика состояния ВРД по термогазодинамическим параметрам. Москва, Машиностроение, 1983. 206 с.
5. Гафуров А. М., Осипов Б. М., Титов А. В., Гафуров Н. М., Программная среда для проведения энергоаудита газотурбинных установок. *Энергетика Татарстана*. 2015. №3(39). С. 20–25.
6. Теория автоматического управления силовыми установками летательных аппаратов: Управление ВРД / Белкин Ю. С. и др.; под ред. д-ра техн. наук, проф. А. А. Шевякова. Москва, Машиностроение, 1976. 344 с.
7. Черкез А. Я. Инженерные расчеты газотурбинных двигателей. Москва, Машиностроение, 1965. 380 с.
8. Владов С. І., Шмельова Т. Ф., Шмельов Ю. М. Контроль і діагностика технічного стану авіаційного двигуна ТВ3-117 у польотних режимах за допомогою нейромережевих технологій : Монографія. Кременчук : ПП Щербатих А. В., 2020. 200 с.

Лепеха Н.М., здобувач ВО,
Національний університет «Чернігівська політехніка»
м. Чернігів, Україна, lpkhnd2002@gmail.com
Наукові керівники: Мурашківська В.П., ст.викл,
Національний університет «Чернігівська політехніка»
м. Чернігів, Україна, vmurashkovska@gmail.com
Аксьонова О.О., асистент,
Національний університет «Чернігівська політехніка»
м. Чернігів, Україна, aksonova.olechka@gmail.com

ТЕРМОДИНАМІЧНА СИСТЕМА ТА ПАРАМЕТРИ ЇЇ СТАНУ

При енергообміні термодинамічної системи із навколишнім середовищем змінюються її параметри стану. Певна послідовність зміни параметрів стану системи називається процесом. Робочим тілом термодинамічної системи називають матеріальне тіло, завдяки якому в термодинамічному процесі здійснюється перетворення теплоти на роботу чи роботи на теплоту. Робочими тілами, як правило, є газоподібні речовини - гази та пари, які здатні значно змінювати свій обсяг при зміні зовнішніх умов.

У теплотехніці широко використовуються енергетичні установки, де перетворення енергії відбувається в газі, що рухається. Згідно з першим законом термодинаміки для будь-якого перерізу енергоізолюваного потоку можна записати $i + \frac{c^2}{2} = const$ та $cdc = -vdp$ де c - швидкість руху газу. Ці рівняння виражають значення енергії у перерізі потоку. Часто швидкість руху газу порівнюють зі швидкістю поширення слабких збурень у ньому (швидкістю звуку) Позначають швидкість звуку і обчислюють за формулою $a = \sqrt{kRT}$ Відношення $\frac{c}{a} = Ma$ називають числом Маха. При $Ma > 1$ потік надзвуковий, а при $Ma < 1$ дозвуковий. Зустрічаючись з перешкодою, потік гальмується, його швидкість $c = 0$. У цьому перерізі потоку параметри газу називають *загальмованими*.

У будь-якому перерізі потоку при відомому тиску в ньому можна обчислити швидкість руху та секундну масову витрату газу. Канали, у яких потік газу прискорюється, називаються *соплами*, а якщо у каналі потік гальмується, його називають *дифузором*. Переріз сопла, де швидкість потоку досягає місцевої швидкості звуку, називають *критичним*.

У критичному перерізі тиск і витрата газу обчислюються через параметри гальмування за такими формулами:

$$p_{кр} = p_0 \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k}{k-1}},$$

$$\dot{m} = F_{кр} \frac{p_0}{\sqrt{RT_0}} \sqrt{k \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k+1}{k-1}}}$$

Розглянемо практичне застосування термодинамічної системи на такому прикладі:

Покришка автомобіля закачується із ресивера компресора повітрям до абсолютного тиску 3,8 бара. Об'єм покришки 22 літри, внутрішній діаметр штуцера для подачі повітря 3 мм. Тиск повітря у ресивері 1,6 МПа, температура 18⁰С. Визначити час накачування покришки, прийнявши середню температуру повітря в ній 29⁰С.

З довідника беремо дані для повітря значення газової постійної та показника адіабати:

$R = 287 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ і $\kappa = 1,4$. Приймаємо параметри повітря в ресивері загальмованими, тобто

$p_0 = 16 \cdot 10^5 \text{ Па}$; $T_0 = 273 + t \text{ } ^\circ\text{C} = 273 + 18 = 291 \text{ К}$. Аналізуємо характер течії повітря на зрізі штуцера, для чого порівнюємо дійсне β з критичним $\beta_{кр}$.

Для повітря $\beta_{кр} = 0,528$, для даних задачі

$$\beta = \frac{p_{\text{вих.з каналу}}}{p_{\text{вх.в канал}}} = \frac{p_{\text{покр.}}}{p_0} = \frac{3,8}{16} = 0,237$$

Оскільки $\beta < \beta_{кр}$, то повітря витікає зі штуцера зі швидкістю звуку. Визначимо її.

$$c_{кр} = a_{кр} = \sqrt{\frac{2\kappa}{\kappa+1} RT_0} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1,4}{1,4+1} 287 \cdot 291} = 312 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Секундна масова витрата повітря через штуцер в цьому випадку обчислюється за формулою

$$\dot{m} = F_{кр} \frac{p_0}{\sqrt{RT_0}} \sqrt{k \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k+1}{k-1}}}$$

де $F_{кр} = \pi r^2 = 3,14 \cdot 1,5^2 \cdot 10^{-6} = 7,16 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$;

Тоді

$$\dot{m} = \frac{7,16 \cdot 10^{-6} \cdot 16 \cdot 10^5}{\sqrt{287 \cdot 291}} \cdot 0,685 = 2,7 \cdot 10^2 \text{ кг/с.}$$

Необхідна маса повітря в шину:

$$m = \frac{pv}{RT} = \frac{3,8 \cdot 10^5 \cdot 22 \cdot 10^{-3}}{287 \cdot 302} = 0,096 \text{ кг.}$$

Час закачування покришки складе:

$$\tau = \frac{m}{\dot{m}} = \frac{0,096}{2,7 \cdot 10^2} = 3,6 \text{ с.}$$

Перелік посилань:

1. Константинов С.М. Теплообмін: Підручник. - К. ВПІ ВПК „Політехніка”, Інпрес, 2005, - 304 с.
2. И.А. Недужий, А.Н. Алабовский „Техническая термодинамика и теплопередача”, Вища школа, 1978, К, 224с.
3. Машиностроение [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://dlja-mashinostroitelja.info>