

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Запорізький національний технічний університет

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

для практичної і самостійної роботи з дисципліни
«Термо-газодинамічні процеси в ДВЗ»
для студентів спеціальності «Двигуни внутрішнього згорання»
за напрямом підготовки 133 – галузеве машинобудування
усіх форм навчання

Методичні вказівки для практичної і самостійної роботи з дисципліни «Термо-газодинамічні процеси в ДВЗ» для студентів спеціальності «Двигуни внутрішнього згорання» за напрямом підготовки 133 – галузеве машинобудування усіх форм навчання /Укл. Мазін В.О. –Запоріжжя: ЗНТУ, 2018. – 8 с.

Укладачі: Мазін В.О., доцент.

Рецензент: Слюсаров О.С., канд. техн. наук, доцент.

Відповідальний
за випуск: Мазін В.О., доцент.

Затверджено
на засіданні кафедри ДВЗ.
Протокол № 6 від 20.02.18 р.

Рекомендовано до видання
НМК транспортного факультету
Протокол № 47 від 28.02.2018 р.

ЗМІСТ

	стор.
Програма курсу	4
Теми для самостійного вивчення	4
1 Практична робота № 1. Визначення розмірів сопла	4
2 Практична робота № 2. Розрахунок газової турбіни	6
3 Практична робота № 3. Зміна стану газового потоку через дроселювання	8
Література	8

ПРОГРАМА КУРСУ

1. Рух частини рідини.
2. Рівняння нерозривності.
3. Головні сили, що мають місце при русі рідини.
4. Зв'язок напруг і деформацій.
5. Рівняння Нав'є-Стокса.
6. Рівняння енергії.
7. Гідродинамічна подібність, критерії подібності.
8. Слоїстий рух рідини (ламінарний).
9. Рівняння руху ідеальної рідини.
10. Плоский сталий рух ідеально стискаємої рідини.
11. Циркуляція швидкості.

ТЕМИ ДЛЯ САМОСТІЙНОГО ВИВЧЕННЯ

1. Теорія пограничного шару
2. Турбулентні струї.
3. Рух газу у соплах й дифузорах.
4. Газові ежектори.

ІНДИВІДУАЛЬНІ ЗАВДАННЯ

Визначення зміни швидкості газу уздовж поперечного перерізу труби при його ламінарному русі

1 ПРАКТИЧНА РОБОТА № 1

Визначення розмірів сопла

З комбінованого сопла газової турбіни витікають продукти згоряння при тиску $p_2 = 1.3 \cdot 10^5$ Па. При вході у сопло тиск газів дорівнює $p_1 = 10.0 \cdot 10^5$ Па при температурі 1200 К (927 °С). Масова витрата газів $m = 0.8$ кг/с. Витікання відбувається адіабатично, показник адіабати $k = c_p/c_v = 1.35$. Продукти згоряння мають властивості повітря. Тертям у каналі сопла і вхідною швидкістю зневажити. Визначити мінімальне і вихідне перерізи сопла, а також температуру газів при виході з сопла.

Рішення. Критичне відношення тисків

$$p_k = p_1/p_2 = (2/k + 1)^{k/(k-1)} = (2/1.35 + 1)^{1.35/(1.35-1)} = 0.537.$$

Відношення тисків за вихідними даними $\beta = p_2/p_1 = 1.3/10 = 0.13$
 $\square \beta_k = 0.537$. Це означає, що слід застосувати комбіноване сопло Ла-валя.

Швидкість газів у критичному перерізі сопла

$$w_k = \sqrt{2 \frac{\kappa}{\kappa+1} p_1 v_1} = \sqrt{2 \frac{\kappa}{\kappa+1} R T_1} = \sqrt{2 \frac{1.35}{1.35+1} 287 \cdot 1200} = 629 \text{ м/с.}$$

Площа критичного перерізу сопла (мінімальна)

$$f_{\min} = \frac{m \cdot v_k}{w_k} = \frac{0.8 \cdot 0.546}{629} = 0.000694 \text{ м}^2 = 694 \text{ мм}^2;$$

$$v_k = \frac{v_1}{\beta_k^{1/\kappa}} = \frac{0.3444}{0.537^{1/1.35}} = 0.546 \text{ м}^3 / \text{кг},$$

$$v_1 = \frac{R T_1}{p_1} = \frac{287 \cdot 1200}{10 \cdot 10^5} = 0.3444 \text{ м}^3 / \text{кг} \quad \text{— за формулою Клапейрона.}$$

Діаметр критичного перерізу сопла

$$d_k = \sqrt{\frac{f_{\min}}{0.785}} = \sqrt{\frac{694}{0.785}} = 29.8 \text{ мм.}$$

Довжину ділянки що звужується приймаємо такою, що дорівнює діаметру критичного перерізу (з конструктивних розумінь)
 $\ell_1 = 30 \text{ мм.}$

Швидкість газів у вихідному перерізі сопла

$$w_b = \sqrt{2 \frac{\kappa}{\kappa-1} p_1 v_1 \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}} = \sqrt{2 \frac{\kappa}{\kappa-1} R T_1 \beta^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}} = 2782 \text{ м/с.}$$

Площа вихідного перерізу сопла

$$f_b = \frac{m \cdot v_2}{w_b} = \frac{0.8 \cdot 1.524}{782} = 0.001559 \text{ м}^2 = 1559 \text{ мм}^2;$$

$$v_2 = \frac{v_1}{\beta^{1/\kappa}} = \frac{0.3444}{0.13^{1/1.35}} = 1.524 \text{ м}^3 / \text{кг.}$$

Діаметр вихідного перерізу сопла

$$D = \sqrt{\frac{f_b}{0.785}} = \sqrt{\frac{1559}{0.785}} = 44.6 \text{ мм.}$$

Довжина ділянки сопла що розширюється

$$\ell_2 = \frac{D - d_k}{2 \operatorname{tg} \frac{\Omega}{2}} = \frac{44.6 - 29.8}{2 \operatorname{tg} \frac{10}{2}} = \frac{44.6 - 29.8}{2 \cdot 0.17498} = 85 \text{ мм};$$

$\Omega = 10^\circ$ – угол конусности насадка (принято),

$\operatorname{tg} 10^\circ = 0.17498$.

Довжина сопла газової турбіни

$$\ell = \ell_1 + \ell_2 = 30 + 85 = 115 \text{ мм.}$$

Температура газу на виході з сопла за рівнянням Клапейрона

$$T_2 = \frac{p_2 v_2}{R} = \frac{1.3 \cdot 10^5 \cdot 1.524}{287} = 693 \text{ К} = 420^\circ \text{С.}$$

2 ПРАКТИЧНА РОБОТА № 2

Розрахунок газової турбіни

Для ідеального циклу газотурбінної установки з підводом теплоти при постійному тиску визначити значення параметрів у характерних точках, роботу розширення, стиску і корисну, кількість підведеної і відведеної теплоти, термічний ККД циклу. Начальні параметри робочого тіла: $p_1 = 0.1$ МПа, $T_1 = 300$ К, ступінь підвищення тиску у компресорі при адіабатному стиску $\beta = p_2/p_1 = 10$; показник адіабати $\kappa = 1.4$. Температура на початку адіабатного розширення має не перевищувати $T_3 = 1000$ К; робоче тіло – повітря; теплоємність повітря незмінна.

Рішення. Питомий початковий об'єм робочого тіла (на початку підводу теплоти)

$$v_1 = \frac{RT_1}{p_1} = \frac{287 \cdot 300}{0.1 \cdot 10^6} = 0.86 \text{ м}^3 / \text{кг.}$$

Параметри у кінці підводу теплоти:

$$p_2 = p_1 \cdot 10 = 1.0 \text{ МПа};$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}; \quad T_2 = 300 \cdot 10^{0.286} = 580 \text{ К};$$

$$v_2 = \frac{RT_2}{p_2} = \frac{287 \cdot 580}{0.1 \cdot 10^6} = 0.1665 \text{ м}^3 / \text{кг.}$$

Параметри на початку адіабатного розширення:

$$p_3 = 1.0 \text{ МПа};$$

$$T_3 = 1000 \text{ К};$$

$$v_3 = \frac{RT_3}{p_3} = \frac{287 \cdot 1000}{0.1 \cdot 10^6} = 0.287 \text{ м}^3 / \text{кг}.$$

Параметри у кінці адіабатного розширення:

$$p_4 = 0.1 \text{ МПа};$$

$$\frac{v_4}{v_3} = \left(\frac{p_3}{p_4} \right)^{\frac{1}{\kappa}}; \quad v_4 = 0.287 \cdot 10^{0.714} = 1.488 \text{ м}^3 / \text{кг};$$

$$T_4 = \frac{p_4 v_4}{R} = \frac{0.1 \cdot 10^6 \cdot 1.488}{287} = 518 \text{ К}.$$

Питома робота стиску у компресорі

$$\begin{aligned} \ell_1 &= p_1(v_4 - v_1) + \frac{1}{\kappa - 1}(p_2 v_2 - p_1 v_1) = \\ &= 0.1 \cdot 10^6(1.488 - 0.86) + \frac{10^6}{1.4 - 1}(1 \cdot 0.1665 - 0.86 \cdot 0.1) = 263500 \text{ Дж} / \text{кг} = \\ &= 263.5 \text{ КДж} / \text{кг}. \end{aligned}$$

Питома робота розширення у турбіні

$$\begin{aligned} \ell_2 &= p_2(v_3 - v_2) + \frac{1}{\kappa - 1}(p_3 v_3 - p_4 v_4) = \\ &= 1 \cdot 10^6(0.287 - 0.1665) + \frac{10^6}{1.4 - 1}(1 \cdot 0.0287 - 1.488 \cdot 0.1) = 466500 \text{ Дж} / \text{кг} = \\ &= 466.5 \text{ КДж} / \text{кг}. \end{aligned}$$

Корисна питома робота

$$\ell = \ell_2 - \ell_1 = 466.5 - 263.5 = 203 \text{ КДж/кг}.$$

Питома кількість підведеної теплоти

$$q_1 = c_p(T_3 - T_2) = 1.008(1000 - 580) = 424 \text{ КДж/кг}.$$

Питома кількість відведеної теплоти

$$q_2 = c_p(T_4 - T_1) = 1.008(518 - 300) = 220 \text{ КДж/кг}.$$

Корисно використана питома кількість теплоти

$$q = q_1 - q_2 = 424 - 220 = 204 \text{ КДж/кг}.$$

Термічний ККД циклу

$$\eta_t = \frac{\ell}{q_1} = \frac{203}{424} = 0.482,$$

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\beta^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}} = 1 - \frac{1}{10^{\frac{1.4-1}{1.4}}} = 0.482.$$

3 ПРАКТИЧНА РОБОТА № 3

Зміна стану газового потоку через дроселювання

По трубі рухається повітря, його тиск знижується через місцеві опорування від $p_1 = 0.8$ МПа до $p_2 = 0.6$ МПа; початкова температура повітря $t_1 = 20$ °С.

Визначити зміну температури і ентропії у досліджуваному процесі. Якою є температура повітря після дроселювання?

Рішення. При дроселюванні ентальпія повітря не змінюється, тобто $i_2 = i_1$; це означає, що температура також не змінюється, і $t_2 = t_1 = 20$ °С.

Приріст ентропії

$$\Delta s = c_p \ln \frac{T_2}{T_1} - R \ln \frac{p_2}{p_1}; \quad \text{але} \quad T_2 = T_1, \quad \text{і} \quad \ln \frac{T_2}{T_1} = 0, \quad \text{тому}$$

$$\Delta s = -R \ln \frac{p_2}{p_1} = R \ln \frac{p_1}{p_2} = 287 \cdot 2.31 \lg \frac{0.8}{0.6} = 82.6 \quad \text{КДж}/(\text{кг} \cdot \text{К}).$$

ЛІТЕРАТУРА

1. Абрамович Г.Н. Прикладная газовая динамика. – М.: Наука, 1969. – 824 с.
2. Нащокин В.В. Техническая термодинамика и теплопередача. – М.: Высш. школа, 1980. – 469 с.
3. Рабинович О.М. Сборник задач по технической термодинамике. – М.: Машиностроение, 1973. – 344 с.
4. Основы газовой динамики и их приложение к расчёту сверхзвуковых аэродинамических труб. /И.А. Паничкин, А.Б. Ляхов. Под ред. И.Т. Швеца. – К.: Издательство Киевского университета, 1965. – 152 с.