Выполнил: Сухоруков Е.В.

группа: ЭОТб(до)зу-15-4

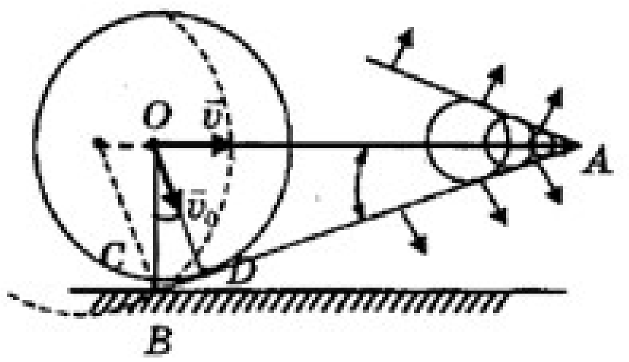
Вариант 6

Основные газодинамические понятия и зависимости

Задача 4. Звук работы двигателя зарегистрирован через t = 2,5с после пролета самолета над пунктом регистрации. Определить скорость пролета, если высота H = 3 км.

Решение:

Самолет летит горизонтально на высоте H = 3 км со сверхзвуковой скоростью. Звук двигателя зарегистрирован через t = 2,5с после пролета самолета над пунктом регистрации. Скорость звука v_0=330 м/с.



B - точка, в которой находится пункт регистрации, A - точка, в которой находится самолет в момент времени t. Из каждой точки, которую пролетает самолет, распространяется сферическая звуковая волна. Если сложить все звуковые волны для момента, когда самолет находится в точке A, то получится волновая поверхность в виде конуса. По мере движения самолета эта поверхность (фронт волны) распространяется со скоростью звука v_0. Это есть ударная звуковая волна.

На рис. OD ⊥ AB, причем $OD = v_0 \cdot t$, $OA = v \cdot t$, $OB = H$ и

$$BD = \sqrt{OB^2 - OD^2} = \sqrt{H^2 - (v_0 \cdot t)^2}.$$

∠BOD=∠BAO (как углы с взаимно перпендикулярными сторонами).

Поэтому прямоугольные треугольники BOD и BOA подобны.

Из подобия следует, что

$$\frac{OA}{OD}=\frac{OB}{BD} \quad \Rightarrow \quad \frac{\upsilon \cdot t}{\upsilon_0 \cdot t}=\frac{H}{\sqrt{H^2-(\upsilon_0 \cdot t)^2}}$$

Выразим отсюда скорость пролета самолета над пунктом регистрации:

$$\upsilon=\frac{H \cdot \upsilon_0}{\sqrt{H^2-(\upsilon_0 \cdot t)^2}}=\frac{3 \cdot 10^3 \cdot 330}{\sqrt{(3 \cdot 10^3)^2-(330 \cdot 2,5)^2}}=343$$ м/с.

Ответ: скорость пролета 343 м/с.

Определение расхода газа через сопло

Задача 1. Воздух истекает из баллона в атмосферу через конфузорное сопло с диаметром выходного сечения d = 0,03 м. Давление газа в баллоне p_0 = 15 атм = 1,5 МПа и температура – T_0 = 500 К. Найти массовый секундный расход воздуха через сопло.

Решение:

Отношение давлений составляет

$$\frac{p_1}{p_0}=\frac{1 \cdot 10^5}{15 \cdot 10^5}=0,067<0,528$$

При истечении газа из комбинированного сопла Лаваля в окружающую среду с давлением меньше критического в самом узком сечении сопла устанавливается критическое давление и критическая скорость.

$$p_k=0,528 \cdot p_0=0,528 \cdot 15 \cdot 10^5=7,92 \cdot 10^5$$ Па

Температура в критическом сечении сопла при адиабатном истечении

$$T_k=T_0 \cdot \left(\frac{p_0}{p_k}\right)^{\frac{1}{k}-1}=500 \cdot \left(\frac{15 \cdot 10^5}{7,92 \cdot 10^5}\right)^{\frac{1}{5}-1}=300$$ К

Температура на выходе сопла при адиабатном истечении

$$T_1=T_0 \cdot \left(\frac{p_0}{p_1}\right)^{\frac{1}{k}-1}=500 \cdot \left(\frac{15 \cdot 10^5}{1 \cdot 10^5}\right)^{\frac{1}{5}-1}=57$$ К

Поэтому скорость истечения будет равна критической и определяется по формуле

$$\omega_k = \sqrt{2 \cdot \frac{k}{k+1} \cdot \frac{R \cdot T_0}{\mu}} = \sqrt{2 \cdot \frac{5}{5+1} \cdot \frac{8,31 \cdot 500}{0,029}} = 488,7 \text{ м/с}$$

Максимальный секундный расход воздуха

$$m_{\max} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \sqrt{2 \cdot \frac{k}{k+1} \cdot \frac{p_o^2 \cdot \mu}{R \cdot T_0} \cdot \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{2}{k-1}}} = \frac{3,14 \cdot 0,03^2}{4} \cdot \sqrt{2 \cdot \frac{5}{5+1} \cdot \frac{15^2 \cdot 10^{10} \cdot 0,029}{8,31 \cdot 500} \cdot \left(\frac{2}{5+1}\right)^{\frac{2}{5-1}}} = 2,75$$

кг/с.

<u>Ответ:</u> 2,75 кг/с.

Течение газа при наличии энергообмена

Задача 2. Поток воздуха нагревается в цилиндрической трубе за счет теплоты сгорания топлива, расход которого составляет 5% от расхода воздуха. До подогрева скорость воздуха V_1 = 50 м/с, давление p_1 = 1,0 МПа, температура торможения T_{01} = 550 К. Найти скорость и давление газа в сечении трубы, где температура тор- можения T_{02} = 1500 К.

Принять k = 1,33; R = 291 Дж/(кг К). Трением пренебречь.

Решение:

Воспользуемся теоремой импульсов переписанной (для труб с прямолинейной осью) в скалярной форме:

$$R = \left(\frac{k+1}{2k} a_{kp} m_t z\right)_2 - \left(\frac{k+1}{2k} a_{kp} m_t z\right)_1 \qquad (1)$$

Применим ее в виде теоремы сохранения импульсов, т.е. при $\bar{R}$ =0.Откуда:

$$z(\lambda_2) = \frac{k_1+1}{k_2+1} \frac{k_2}{k_1} \frac{G_{t1}}{G_{t2}} \frac{a_{kp1}}{a_{kp2}} z(\lambda_1) \qquad (2)$$

Здесь, $z(\lambda) = \lambda + \frac{1}{\lambda}$ (3)

$z(\lambda)$ -газодинамическая функция,

$$\lambda = \frac{V}{a_{kp}} \tag{4}$$

λ-коэффициент скорости,λ_1 - коэффициент скорости на входе,

λ_2- коэффициент скорости на выходе из трубы.

$$a_{kp} = \sqrt{\frac{2kRT_0}{k+1}} \tag{5}$$

a_{ap} -критическая скорость звука,

G_t-секундный расход газа.

Найдем a_{kp1} и a_{kp2}.Так как для воздуха к=1,4

$$a_{kp1} = \sqrt{2 \cdot \frac{1,4 \cdot 291 \cdot 550}{1,4+1}} = 432,1169$$ м/сек.

Внутри трубы к=1,33

$$a_{kp2} = \sqrt{2 \cdot \frac{1,33 \cdot 291 \cdot 1500}{1,33+1}} = 705,9192$$ м/сек.

$$\lambda_1 = \frac{50}{432,1169} = 0,115709$$. Так как расход G_{t2} больше G_{t1} на 5% то

$$\frac{G_{t1}}{G_{t2}} = \frac{1}{1.05} = 0.9524$$.

$$z(\lambda_1) = \lambda_1 + \frac{1}{\lambda_1} = 8,758047$$. Подставим найденные значения в формулу (2)

$$z(\lambda_2) = \frac{2,4}{2,33} \cdot \frac{1,33}{1,4} \cdot \frac{432,1169}{705,9192} \cdot 0,9524 \cdot 8,758047 = 4,9962$$

$$\lambda_2 + \frac{1}{\lambda_2} = 4,9962$$

Решив уравнение найдем два значения λ_2.

$$\lambda_2 = 0,20888$$

$$\lambda_2 = 4,78735$$

Реальным будет только первое решение, поскольку подогревом нельзя перевести дозвуковой поток в сверхзвуковой. Зная коэффициент скорости мы можем найти скорость , этому коэффициенту соответствующую:

$$V_2 = \lambda_2 \cdot a_{kp2} = 0,20888 \cdot 705,9192 = 147,455$$ м/сек.

$$\frac{p_2}{p_1}=\frac{\pi_{k=1.33}(\lambda_2)}{\pi_{k=1.4}(\lambda_1)}\sigma \qquad (6)$$

где по уравнению расхода

$$\sigma=\frac{p_{02}}{p_{01}}=\frac{B_{1G}}{B_{2G}}\sqrt{\frac{T_{02}}{T_{01}}}\frac{q_{k=1.4}(\lambda_1)}{q_{k=1.33}(\lambda_2)}\frac{G_{t1}}{G_{t2}} \qquad (7)$$

σ-коэффициент восстановления полного давления. π-газодинамическая функция. B_{1G} и B_{2G} здесь постоянные .

$$B_G=\sqrt{k\left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k+1}{k-1}}}\frac{g}{\sqrt{R}} \qquad (8)$$

Вычисляем B_{1G} и B_{2G} по формуле (8):

$$B_{1G}=\sqrt{1,4\cdot\left(\frac{2}{1,4+1}\right)^{\frac{1,4+1}{1,4-1}}}\cdot\frac{9,81}{\sqrt{291}}=0,39377$$

$$B_{2G}=\sqrt{1,33\cdot\left(\frac{2}{1,33+1}\right)^{\frac{1,33+1}{1,33-1}}}\cdot\frac{9,81}{\sqrt{291}}=0,38681$$

.

Найдем значения $q_{k=1.4}(\lambda_1)$, $q_{k=1,33}(\lambda_2)$, $\pi_{л=1,4}(\lambda_1)$, и $\pi_{л=1,33}(\lambda_2)$ по таблицам газодинамических функций:

$q_{k=1.4}(\lambda_1)=0,18816$, $q_{k=1,33}(\lambda_2)=0,32362$,

$\pi_{л=1,4}(\lambda_1)=0,99163$, $\pi_{л=1,33}(\lambda_2)=0,97408$.

Подставим все найденные значения в формулы (6),(7) и (8).

$$\sigma=\frac{0,39377}{0,38681}\cdot\sqrt{\frac{1500}{550}}\cdot\frac{0,18816}{0,32362}=0,9775$$

Найдем из формулы (6) p_2:

$$p_2=\frac{0,97408}{0,99163}\cdot 0,9775\cdot 1\cdot 10^6=0,96017\cdot 10^6$$

p_2=9,6017 ата.

Ответ: V_2=147,455 м/сек, p_2=9,6017 ата.