

На входе в сопло Лавала водяной пар имеет параметры: $p_1 := 4 \text{ МПа}$ и $t_1 := 410 \text{ }^\circ\text{C}$. Давление за соплом $p_{cp} := 0,5 \text{ МПа}$. Определить площадь минимального и выходного сечений сопла и скорость пара в этих $m := 2 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$ а скоростной коэффициент сопла $\varphi := 0,92$. Определить также температуру пара на выходе из сопла. Начальной скоростью пренебречь.

Решение

Для определения термодинамических свойств водяного пара используются таблицы [3] или калькулятор свойств водяного пара [6].

1) Определим по $p_1 = 4 \cdot 10^6 \text{ Па}$ и $t_1 = 410 \text{ }^\circ\text{C}$ параметры водяного пара на входе в сопло Лавала:

$$h_1 := 3237,9 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

$$s_1 := 6,8059 \frac{\text{кДж}}{\text{кг К}}$$

т.к. начальная скорость $w_1 := 0$ то $h_0 := h_1 = 3237,9 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$ и $s_0 := s_1 = 6,8059 \frac{\text{кДж}}{\text{кг К}}$

2) Определяем режим течения, для чего рассчитываем β и сравниваем его с $\beta_{кр} := 0,546$

$$\left(\beta := \frac{p_{cp}}{p_1} \right) < \beta_{кр} = 1$$

для сопла Лавала это — расчетный режим (рис. 9.17), для которого в выходном сечении устанавливается давление

$$p_2 := p_{cp} = 0,5 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

а в минимальном сечении

$$p_{кр} := \beta_{кр} \cdot p_1 = 2,184 \text{ МПа}$$

3) Предполагая, что процесс течения — изоэнтропный, определим по $p_{кр} = 2,184 \cdot 10^6 \text{ Па}$ и $s_{кр} := s_0 = 6,8059 \frac{\text{кДж}}{\text{кг К}}$

энтальпию водяного пара: $h_{кр} := 3070,0 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$

а по $p_2 = 0,5 \text{ МПа}$ и $s_2 := s_0 = 6,8059 \frac{\text{кДж}}{\text{кг К}}$ энтальпию водяного пара $h_2 := 2741,8 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$

в выходном сечении сопла Лавала. Скорость потока пара в минимальном и в выходном сечениях сопла рассчитываем по (9.46) в предположении, что трения нет:

$$w_{кр} := 44,72 \cdot \sqrt{\left(\frac{h_0 - h_{кр}}{1000} \right)} = 579,46 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$w_2 := 44,72 \cdot \sqrt{\left(\frac{h_0 - h_2}{1000} \right)} = 996,06 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Действительную скорость потока в рассчитываемых сечениях найдем, используя (9.16),

$$w_{крд} := \varphi \cdot w_{кр} = 533,11 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$w_{2д} := \varphi \cdot w_2 = 916,38 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

4) Для определения площади минимального и выходного сечений сопла Лавала определим энтальпии водяного пара по формуле (9.18) в состояниях крд и 2д (см. рис. 9.17) действительного процесса 0-2д:

$$h_{крд} := h_{кр} + \left(1 - \varphi^2 \right) \cdot \left(h_0 - h_{кр} \right) = 3095,8 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

$$h_{2д} := h_2 + \left(1 - \varphi^2\right) \cdot (h_0 - h_2) = 2818 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

По $p_{крд} := p_{кр} = 2,184 \text{ МПа}$ и $h_{крд} = 3095,8 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$ найдём $v_{крд} := 0,1170 \frac{\text{м}}{\text{с}}$

По $p_{2д} := p_2 = \frac{1}{2} \text{ МПа}$ и $h_{2д} = 2818 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$ найдём $v_{2д} := 0,40727 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ и $t_{2д} := 182,53 \text{ }^\circ\text{C}$

Площадь минимального и выходного сечений сопла рассчитаем, используя уравнение неразрывности (9.30),

$$f_{min} := m \cdot \frac{v_{крд}}{w_{крд}} = 4,3894 \text{ см}^2$$

$$f_2 := m \cdot \frac{v_{2д}}{w_{2д}} = 8,8887 \text{ см}^2$$

Ответ: В минимальном сечении: $f_{min} = 4,3894 \text{ см}^2$ скорость пара $w_{крд} = 533,11 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ в выходном сечении: площадь

$f_2 = 8,8887 \text{ см}^2$ скорость пара $w_{2д} = 916,38 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ температура пара $t_{2д} = 182,53 \text{ }^\circ\text{C}$