

Аэродинамический расчет дымовой трубы

Исходные данные

$Q_{к1} := 5$ МВт - мощность котла
 $n := 3$ количество котлов
 $\eta := 0.94$ КПД котла
 $t_{ух.г} := 130$ °С - температура уходящих газов
 $\alpha_k := 1.14$ Коэффициент избытка воздуха

Топливо: Природный газ

$V_o := 9.52$ м³/м³ - удельный объем воздуха
 $V_{го2} := 1.04$ м³/м³ - удельный объем трехатомных газов
 $V_{N2} := 7.60$ м³/м³ - удельный объем N₂
 $V_{H2O} := 2.10$ м³/м³ - удельный объем водяных паров
 $V_{г.о} := 10.73$ м³/м³ - удельный объем уходящих газов
 $Q_{р.н} := 7950$ ккал/м³ - теплота сгорания топлива

1. Определение диаметра дымовой трубы и сечения газоходов

1.1 Определение объема уходящих газов

$$B_{p1} := \frac{Q_{k1} \cdot 0.86 \cdot 10^6}{\eta \cdot Q_{p,n}} \quad B_{p1} = 575.405 \quad \frac{\text{М}^3}{\text{ч}} \quad \text{- часовой расход топлива}$$

Удельный объем дымовых газов

$$V_{г.уд} := V_{г.о} + (\alpha_k - 1) \cdot V_o \quad V_{г.уд} = 12.063$$

$$V_{r1} := B_{p1} \cdot V_{г.уд} \cdot \frac{(273 + t_{yx,r})}{273} \quad V_{r1} = 1.025 \times 10^4 \quad \frac{\text{М}^3}{\text{ч}}$$

1.2 Определение размеров сечений газоходов

Для котла Принимаем скорость в газоходе $w := 9 \text{ м/с}$

$$F_{газ1} := \frac{V_{r1}}{w \cdot 3600} \cdot 10^6 \quad F_{газ1} = 3.162 \times 10^5 \quad \text{мм}^2 \text{ - площадь газоходов}$$

$$D_{газ1} := \sqrt{\frac{F_{газ1} \cdot 4}{3.14}} = 634.709 \quad \text{мм}$$

К установке принимаем газоход круглого сечения размером

$$D_{газ1} := 700 \quad \text{мм}$$

Скорость газов составит

$$w_{газ1} := \frac{V_{r1}}{3600 \left[\frac{\pi \cdot (D_{газ1})^2}{4} \right]} \cdot 10^6 \quad w_{газ1} = 7.396 \quad \frac{\text{М}}{\text{с}}$$

1.3 Определение диаметров дымовой трубы

$w_{\text{ВЫХ}} := 10$ м/с - скорость газов на выходе из дымовой трубы (при естественной тяге принимается 6-10 м/с)

$\alpha_{\text{ТР}} := 1.3$ коэффициент избытка воздуха на выходе из дымовой трубы

1.3.1 Определение диаметра дымовой трубы от котла.

Удельный объем газов проходящих через дымовую трубу

$$V_{\text{г.уд}} := V_{\text{г.о}} + (\alpha_{\text{ТР}} - 1) \cdot V_{\text{о}} \quad V_{\text{г.уд}} = 13.586$$

Объем газов проходящих через дымовую трубу

$$V_{\text{г1}} := B_{\text{п1}} \cdot V_{\text{г.уд}} \cdot \frac{(273 + t_{\text{ух.г}})}{273} \quad V_{\text{г1}} = 1.154 \times 10^4 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}$$

$$F_{\text{ТР1}} := \frac{V_{\text{г1}}}{w_{\text{ВЫХ}} \cdot 3600} \cdot 10^6 \quad F_{\text{ТР1}} = 3.206 \times 10^5 \quad \text{мм}^2 - \text{площадь "живого" сечения трубы}$$

$$D_{\text{Н1}} := \sqrt{\frac{F_{\text{ТР1}} \cdot 4}{3.14}} = 639.025 \quad \text{мм}$$

Принимаем к установке трубу

$$D_{\text{н1}} := 700 \quad \text{мм}$$

Тогда скорость ух. газов на выходе из трубы при максимальной нагрузке котельной составит:

$$w_{\text{ТР1}} := \frac{V_{\text{г1}}}{3600 \left[\frac{\pi \cdot (D_{\text{Н1}})^2}{4} \right]} \cdot 10^6 \quad w_{\text{ТР1}} = 8.33 \quad \text{м/с}$$

1.4 Определение скорости ух. газов при минимальной нагрузке котельной

Минимальная нагрузка котельной - работа одного котла на 40%, т.е. объем ух. газов составит:

$$V_{\text{г.min}} := V_{\text{г1}} - 0.6 \cdot V_{\text{г1}} \quad V_{\text{г.min}} = 4.616 \times 10^3 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}$$

Тогда скорость ух. газов на выходе из трубы при минимальной нагрузке котельной составит:

$$w_{\text{ТР}} := \frac{V_{\text{г.min}}}{3600 \left[\frac{\pi \cdot (D_{\text{Н1}})^2}{4} \right]} \cdot 10^6 \quad w_{\text{ТР}} = 3.332 \quad \text{м/с}$$

2. Расчет газового тракта котельной и определение высоты дымовой трубы при естественной тяге

2.1 Сопротивление газохода

2.1.1 Сопротивление трения для котлов

Эквивалентный диаметр для круглого сечения (форм. 1-38а, стр. 22, лит. (1))

Газоход одного котла

$$d_{\text{э.газ1}} := D_{\text{газ1}} \quad d_{\text{э.газ1}} = 700$$

Коэффициент кинематической вязкости (линейная интерполяция по табл. 2 - 1, стр. 56, лит. (1))

$$\nu := (t_{\text{ух.г}} \cdot 0.108 + 10) \cdot 10^{-6} \quad \nu = 2.404 \times 10^{-5}$$

$$\text{Критерий Re} \quad \text{Re} := \frac{w_{\text{газ1}} \cdot (d_{\text{э.газ1}} \cdot 10^{-3})}{\nu} \quad \text{Re} = 2.153 \times 10^5$$

$$\text{Шероховатость стенок газохода} \quad r := 0.12 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

Коэффициент сопротивления λ при $\text{Re} > 4000$ (форм. 1-7, стр.7, лит (1))

$$\lambda := 0.11 \cdot \left(\frac{r}{d_{\text{э.газ1}} \cdot 10^{-3}} + \frac{68}{\text{Re}} \right) \quad \lambda = 5.359 \times 10^{-5}$$

$$\text{Коэффициент избытка воздуха в газоходах} \quad \alpha_{\text{газ}} := 1.2$$

Объемная доля водяных паров в уходящих газах (по табл., стр. 100, лит (2))

$$r_{\text{H}_2\text{O}} := \frac{V_{\text{H}_2\text{O}} + 0.0161 \cdot (\alpha_{\text{газ}} - 1) \cdot V_{\text{o}}}{\alpha_{\text{газ}} \cdot V_{\text{o}}} \quad r_{\text{H}_2\text{O}} = 0.187$$

Определение плотности уходящих газов (по табл. , стр. 100, лит (2))

$$\text{При } r_{\text{H}_2\text{O}} = 0.187 \quad M_{\rho} := 0.97$$

$$\text{тогда } \rho_{\text{o}} := M_{\rho} \cdot 0.132 \quad \rho_{\text{o}} = 0.128$$

$$\text{Поправка на температуру} \quad \rho_{\text{газ}} := \rho_{\text{o}} \cdot \frac{273}{273 + t_{\text{ух.г}}} \quad \rho_{\text{газ}} = 0.087 \quad \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$\text{Длина газохода} \quad L := 7 \text{ м}$$

Сопротивление трения

$$\Delta h_{\text{тр.газ1}} := \left[\left(\lambda \cdot \frac{L}{d_{\text{э.газ1}} \cdot 10^{-3}} \right) \cdot \frac{w_{\text{газ1}}^2}{2} \right] \cdot \rho_{\text{газ}} \quad \Delta h_{\text{тр.газ1}} = 1.271 \times 10^{-3}$$

2.1.2 Местные сопротивления для котлов

Отвод 45 ° - 1 шт.

Значение произведения $K\Delta\varepsilon_0$ для отвода (по рис. 7 - 15, стр. 199, лит (1))

$$K\Delta\varepsilon_0 := 0.3$$

Значение коэффициента В для угла 45 ° (по рис. 7 - 16, стр. 200, лит (1))

$$B := 0.62$$

Значение коэффициента С для отвода круглого сечения

$$C := 1$$

Коэффициент местного сопротивления для поворотов определяется по формуле 1 - 28, стр. 18, лит (1)

$$\varepsilon_{от} := K\Delta\varepsilon_0 \cdot B \cdot C \quad \varepsilon_{от} = 0.186$$

$$\Delta h_{от1} := \varepsilon_{от} \cdot \frac{w_{газ1}^2}{2} \cdot \rho_{газ} \quad \Delta h_{от1} = 0.441$$

Вход в дымовую трубу

Вход в дымовую трубу рассматривается как собирающий тройник под углом 90 °

Поэтому:

$$\varepsilon_{вх.тр1} := 1$$

$$\Delta h_{вх.тр1} := \varepsilon_{вх.тр1} \cdot \frac{w_{газ1}^2}{2} \cdot \rho_{газ} \quad \Delta h_{вх.тр1} = 2.372$$

Сумма местных сопротивлений (с учетом наличия отводов $\alpha=45^\circ$)

$$\Delta h_{м1} := \Delta h_{вх.тр1} \quad \Delta h_{м1} = 2.372$$

2.1.3 Общие сопротивления газохода

$$\Delta h_{общ.газ1} := \Delta h_{тр.газ1} + \Delta h_{м1} \quad \Delta h_{общ.газ1} = 2.373$$

2.2 Сопротивление дымовой трубы

2.2.1 Сопротивление трения

$$d_{\text{э.тр1}} := 700$$

Коэффициент кинематической вязкости (линейная интерполяция по табл. 2 - 1, стр. 56, лит. (1))

$$\nu := (t_{\text{ух.г}} \cdot 0.108 + 10) \cdot 10^{-6} \quad \nu = 2.404 \times 10^{-5}$$

$$\text{Критерий Re} \quad \text{Re} := \frac{w_{\text{тр1}} \cdot (d_{\text{э.тр1}} \cdot 10^{-3})}{\nu} \quad \text{Re} = 2.425 \times 10^5$$

$$\text{Шероховатость стенок газохода} \quad r := 4 \cdot 10^{-4} \quad \text{м}$$

Коэффициент сопротивления 1 при $\text{Re} > 4000$ (форм. 1-7, стр.7, лит (1))

$$\lambda := 0.11 \cdot \left(\frac{r}{d_{\text{э.тр1}} \cdot 10^{-3}} + \frac{68}{\text{Re}} \right) \quad \lambda = 9.37 \times 10^{-5}$$

Коэффициент избытка воздуха в газоходах $\alpha_{\text{газ}} := 1.3$

Объемная доля водяных паров в уходящих газах (по табл., стр. 100, лит (2))

$$r_{\text{H}_2\text{O}} := \frac{V_{\text{H}_2\text{O}} + 0.0161 \cdot (\alpha_{\text{тр}} - 1) \cdot V_{\text{о}}}{\alpha_{\text{газ}} \cdot V_{\text{о}}} \quad r_{\text{H}_2\text{O}} = 0.173$$

Определение плотности уходящих газов (по табл. , стр. 100, лит (2))

$$\text{При} \quad r_{\text{H}_2\text{O}} = 0.173 \quad M_{\text{газ}} := 0.97$$

$$\text{тогда} \quad \rho_{\text{о}} := M_{\text{р}} \cdot 0.132 \quad \rho_{\text{о}} = 0.128 \quad t_{\text{ух.г.тр}} := 130 \quad ^\circ\text{C}$$

$$\text{Поправка на температуру} \quad \rho_{\text{газ}} := \rho_{\text{о}} \cdot \frac{273}{273 + t_{\text{ух.г.тр}}} \quad \rho_{\text{газ}} = 0.087 \quad \frac{\text{кгс} \cdot \text{сек}^2}{\text{м}^4}$$

$$\text{Длина} \quad L_{\text{тр}} := 20 \quad \text{м}$$

Сопротивление трения

$$\Delta h_{\text{тр.тр}} := \left[\left(\lambda \cdot \frac{L_{\text{тр}}}{d_{\text{э.тр1}} \cdot 10^{-3}} \right) \cdot \frac{w_{\text{тр1}}^2}{2} \right] \cdot \rho_{\text{газ}} \quad \Delta h_{\text{тр.тр}} = 8.055 \times 10^{-3}$$

2.2.2 Местные сопротивления

Коэффициент местного сопротивления истечения газов из дымовой трубы

$$\epsilon_{\text{вых.тр1}} := 1.1 \quad (\text{стр. 262, лит (3)})$$

Потеря давления при истечении газов из дымовой трубы (форм. 11.19, стр. 262, лит (3))

$$h_{\text{д}} := \epsilon_{\text{вых.тр1}} \cdot \frac{w_{\text{тр1}}}{2} \cdot \rho_{\text{газ}} \quad h_{\text{д}} = 0.397 \quad \frac{\text{кгс}}{\text{м}}$$

3. Высота трубы

Разрежение на выходе из топки, необходимое для предотвращения выбивания газов

$$h_{\text{т}} := 0.02$$

Перепад полных давлений газового тракта без учета сопротивления и самотяги трубы

(форм. 2 - 26, стр. 39, лит (1))

$$\Delta H_{\text{п}} := h_{\text{т}} + \Delta h_{\text{общ.газ1}} \quad \Delta H_{\text{п}} = 2.393$$

Ускорение свободного падения $g := 9.807$

Среднее барометрическое давление $h_{\text{бар}} := 760$ мм.рт.ст

Расчетная температура воздуха $t_{\text{в}} := -32$ °C

Плотность наружного (атмосферного) воздуха (форм. 2 - 33, стр. 40, лит (1))

$$\rho_{\text{а}} := 0.132 \cdot \frac{273}{273 + t_{\text{в}}} \quad \rho_{\text{а}} = 0.15$$

Высота трубы, обеспечивающая необходимую тягу (форм. 2 - 33, стр. 40, лит (1))

$$H_{\text{тр}} := \frac{1.2 \cdot \Delta H_{\text{п}} + (h_{\text{д}} + \Delta h_{\text{тр.тр}}) \cdot \frac{\rho_{\text{о}}}{0.132} \cdot \frac{760}{h_{\text{бар}}}}{g \cdot (\rho_{\text{а}} - \rho_{\text{газ}}) \cdot \frac{h_{\text{бар}}}{760}} \quad H_{\text{тр}} = 5.303 \quad \text{м}$$

Принимаем высоту дымовой трубы $H_{\text{тр}}=15$ м