

## Аэродинамический расчет котельных установок. Естественная тяга.

При естественной тяге необходимо уточнить среднюю температуру газов в трубе  $\vartheta_{cp}$ . Температура на входе в трубу  $\vartheta_1$  определяется из паспортных данных оборудования. Температуру продуктов сгорания на выходе из устья дымохода  $\vartheta_2$  находят с учетом их охлаждения по длине трубы. Охлаждение газов в трубе на 1 метр её высоты определяется по формуле:

$$\Delta\vartheta = \frac{B}{\sqrt{\frac{Q}{1000}}}, \text{ } ^\circ\text{C.}$$

где  $Q$  – тепловая мощность котла, кВт.

$B$  – коэффициент: 0.85 – неизолированная металлическая труба, 0.34 – изолированная металлическая труба, 0.17 – кирпичная труба с толщиной кладки до 0.5 метра.

Температура на выходе из трубы:

$$\vartheta_2 = \vartheta_1 - H_g \Delta\vartheta, \text{ } ^\circ\text{C.}$$

$H_g$  - высота дымовой трубы в метрах.

Средняя температура продуктов сгорания в дымоходе:

$$\vartheta_{cp} = \frac{\vartheta_1 + \vartheta_2}{2}, \text{ } ^\circ\text{C.}$$

Диаметр трубы принимается либо по паспортным данным (по диаметру выходного патрубка из котла) в случае монтажа отдельной дымовой трубы к каждому котлу, либо сечение дымовой трубы определяется по формуле при объединении нескольких котлов в общий дымоход (суммарная мощность до 755 кВт).

$$F = \frac{1000}{1.163} \frac{r Q}{\sqrt{H_g}}, \text{ } \text{см}^2$$

при цилиндрических трубах определяется диаметр:  $d = \sqrt{\frac{4F}{\pi}}$ , см.

$r$  – коэффициент зависящий от вида используемого топлива. Газ:  $r=0.016$ , жидкое топливо:  $r=0.024$ , уголь:  $r=0.030$ , дрова:  $r=0.045$ .

Для проведения аэродинамического расчета, как правило, высотой дымовой трубы задаются. Во всех случаях ее высота не должна быть менее 5 метров.

Если высота трубы задана и требуется проверить достаточность развиваемой ею тяги, для этого рассчитывают сумму сопротивлений трубы, а также определяется самотяга трубы по формулам:

**Сумма сопротивлений трубы:**

$$\sum \Delta h_{mрб} = \Delta h_{mр} + \Delta h_{mс}, \text{ } \text{мм.вод.ст.}$$

Сопротивление трения:

$$\Delta h_{mр} = \lambda \frac{H_g}{d} \frac{\omega_z^2}{2} \rho_z g, \text{ } \text{мм.вод.ст.}$$

Потери в местных сопротивлениях:

$$\Delta h_{mc} = \sum \zeta \frac{\omega_z^2}{2} \rho_z g \quad , \text{ мм.вод.ст.}$$

$\xi = 1.0; 0.9; 0.2-1.4$  - коэффициенты местного сопротивления с выходной скоростью (на выходе из трубы), на входе в дымовую трубу и в поворотах - отводах и тройниках (коэффициент выбирают в зависимости от их конфигураций) соответственно.

$\lambda$  - коэффициент сопротивления трения: для кирпичных труб  $\lambda = 0.05$ , для стальных  $\lambda = 0.02$ .

$g$  - ускорение свободного падения равно  $9.81 \text{ м/с}^2$

$d$  - диаметр дымовой трубы, м.

$\omega_z$  - скорость продуктов сгорания в трубе:

$$\omega_z = \frac{V_o^z}{0.785 d^2} \quad , \text{ м/с.}$$

$V_o^z$  - действительный объём продуктов сгорания:

$$V_o^z = B_T [V_o^z + V_o^e (\alpha - 1)] \frac{(273 + \vartheta_{cp})}{273} \quad , \text{ м}^3/\text{с}$$

$B_T$  - расход топлива с учетом теплотворной способности данного топлива:

$$B_T = \frac{0.86 Q}{Q_n^p \eta} \quad , \text{ м}^3/\text{час}$$

$\eta$  - КПД установки из паспортных данных на оборудование (0.9 – 0.95);

$Q_n^p$  - низшая теплотворная способность (в зависимости от состава топлива), для газа –  $8000 \text{ ккал/м}^3$

$V_o^z$  - теоретический объём продуктов сгорания, для природного газа можно принять  $10.9 \text{ м}^3/\text{м}^3$

$V_o^e$  - теоретически необходимое количество воздуха, для сжигания  $1 \text{ м}^3$  природного газа  $8.5 - 10 \text{ м}^3/\text{м}^3$

$\alpha$  - коэффициент избытка воздуха для природного газа  $1.05 - 1.25$

**Величина самотяги:**

$$h_c = H_g (\rho_g - \rho_z) \quad , \text{ мм.вод.ст.}$$

$\rho_g$  - плотность воздуха при рабочих условиях:

$$\rho_g = \rho_{г\text{ ну}}^g \frac{273}{273 + t_{oc}} \quad , \text{ кг/м}^3$$

$t_{oc}$  - температура окружающей среды °С, принимается для наихудших условий работы оборудования – летнего времени. При отсутствии данных принимается  $20 \text{ °С}$ .

$\rho_{г\text{ ну}}^g$  - плотность воздуха при нормальных условиях –  $1,293 \text{ кг/м}^3$

$\rho_z$  - плотность дымовых газов при рабочих условиях:

$$\rho_z = \rho_{г\text{ ну}}^z \frac{273}{273 + \vartheta_{cp}} \quad , \text{ кг/м}^3$$

$\rho_{г\text{ ну}}^z$  - плотность продуктов сгорания при нормальных условиях, при  $\alpha = 1.2$  для природного газа можно принять –  $1.26 \text{ кг/м}^3$

**Проверка тяги производится по формуле:**

$$h_c \times \frac{h_{бар}}{760} - \sum \Delta h_{трб} \frac{\rho_{ну}^2}{\rho^6_{ну}} \times \frac{760}{h_{бар}} \geq 1.2 \Delta H_{II}$$

$h_{бар}$  - барометрическое давление, принимается 750 мм.вод.ст.

$\Delta H_{II}$  - перепад полных давлений газового тракта, мм. вод. ст., без учета сопротивления и самотяги трубы.

1,2 – коэффициент запаса по тяге.

Перепад полных давлений по газовому тракту (общий вид формулы):

$$\Delta H_{II} = h_T'' + \Delta h - h_c$$

где  $h_T''$  - разряжение на выходе из топки, необходимое для предотвращения выбивания газов, обычно принимается 2 – 5 мм.вод.ст.

В данном случае, для проверки тяги, перепад полных давлений берется без учета суммарного сопротивления  $\Delta h$  и самотяги трубы  $h_c$ .

Таким образом:

$$\Delta H_{II} = h_T'' = 2 \div 5 \text{ мм.вод.ст}$$

Высоту дымовой трубы, в метрах, обеспечивающую необходимую тягу, можно определить по формуле:

$$H_g = \frac{1.2 \Delta H_{II} + \sum \Delta h_{трб} \frac{\rho_{ну}^2}{\rho^6_{ну}} \times \frac{760}{h_{бар}}}{(\rho_6 - \rho_2) \frac{h_{бар}}{760}}, \text{ м.}$$