

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ
МИНИМАЛЬНОЙ
ВЫСОТЫ ОДИНОЧНОГО
ИСТОЧНИКА ВЫБРОСА
ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ
ВЕЩЕСТВ В
АТМОСФЕРУ**

Порядок определения минимальной высоты источника выброса

Минимальная высота одиночного источника выброса (трубы) H (м) в случае $\Delta T \approx 0$ определяется по формуле (1):

$$H = \left[\frac{A \cdot M \cdot F \cdot D}{8 \cdot V_1 \cdot (\text{ПДК} - c_{\phi})} \right]^{\frac{3}{4}}$$

где A – коэффициент, зависящий от температурной стратификации атмосферы;

M (г/с) – масса вредного вещества, выбрасываемого в атмосферу в единицу времени;

F – безразмерный коэффициент, учитывающий скорость оседания вредных веществ в атмосферном воздухе;

H (м) – высота источника выброса над уровнем земли;

ΔT (°С) – разность между температурой выбрасываемой газовой смеси T_r и температурой окружающего атмосферного воздуха T_b ;

V_1 (м³/с) – расход газовой смеси, определяемый по формуле

Расход газовой смеси, определяется по формуле (2):

$$V_1 = \frac{\pi D^2}{4} w_0$$

где D - диаметр устья трубы (м).; w_0 - скорость выхода газовой смеси из устья трубы (м/с).

Расход выбрасываемых в атмосферу летучей золы и несгоревшего топлива (г/с, т/год) осуществляется по формуле (3):

$$M_{тв} = B \cdot \frac{A^p}{100 - \Gamma_{ун}} \alpha_{ун} \left(- \eta \right)$$

где B — расход натурального топлива, г/с, т/год;

A^p — зольность топлива на рабочую массу, %;

$\alpha_{\text{ун}}$ — доля золы в уносе;

η — доля твердых частиц, улавливаемых в золоуловителях;

$\Gamma_{\text{ун}}$ — содержание горючего в уносе, % масс.

При отсутствии эксплуатационных данных о содержании горючего в уносе количество выбрасываемых твердых частиц рассчитывается по формуле (4):

$$M_{тв} = 0,01 \cdot B \cdot \left(\alpha_{уН} \cdot A^p + \frac{q_4^{уН} \cdot Q_H^p}{32680} \right) \cdot (1 - \eta)$$

где $q_4^{уН}$ — потеря теплоты с уносом от механической неполноты сгорания топлива, % (для мазутных котлов $q_4^{уН} = 0,02$ %. Если отсутствуют экспериментальные данные о $q_4^{уН}$ при сжигании твердого топлива, то для приближенного расчета в формулу подставляется нормативное значение $q_4^{уН}$);

Q_H^p — низшая теплота сгорания топлива кДж/кг;

32680 — теплота сгорания углерода, в кДж/кг.

Определение расхода выбросов диоксидов серы SO_2 выполняется по балансовой стехиометрической формуле (5):

$$M_{\text{SO}_2} = 0,02 \cdot B \cdot S^p \cdot \left(1 - \eta_{\text{SO}_2}\right) \cdot \left(1 - \eta'_{\text{SO}_2}\right),$$

где S^p — содержание серы в топливе, %;

η — доля оксидов серы, улавливаемых летучей золой в котле;

η' — доля оксидов серы, улавливаемых в золоуловителе попутно с твердыми частицами (в долях).

Доля оксидов серы (η'), улавливаемых в сухих золоуловителях (электрофилтрах, батарейных циклонах), принимается равной нулю.

Если вычисленному по формуле (1) значению H соответствует значение $v'_m \geq 2$, рассчитанное по формуле (6), то указанное значение H является окончательным.

$$v'_M = 1,3 \cdot \frac{\omega_0 \cdot D}{H}$$

Если $v < 2$, то необходимо при найденном значении $H = H_1$ определить величину $n = n_1$ и последовательными приближениями найти $H = H_2$ по H_1 и n_1 , $H = H_{i+1}$ по H_i и n_i с помощью формулы (7)

$$H_{i+1} = H_i \cdot \left(\frac{n_i}{n_{i-1}} \right)^{\frac{3}{4}}$$

где n_i и n_{i-1} значения безразмерного коэффициента n , определенного соответственно по значениям H_i и H_{i-1} .

Уточнение значения H необходимо производить до тех пор, пока два последовательно найденных значения H_i и H_{i+1} практически не будут отличаться друг от друга (с точностью до 1 м).

При $\Delta T > 0$ значение H сначала рассчитывается также по формуле 1.

Если при этом найденное значение

$$H \leq w_0 \cdot \sqrt{\frac{10D}{\Delta T}}$$

то оно является окончательным.

Если найденное значение

$$H > w_0 \cdot \sqrt{\frac{10D}{\Delta T}}$$

то предварительное значение минимальной высоты выбросов (трубы) определяется по формуле (8).

$$H_1 = \sqrt{\frac{A \cdot M \cdot F}{(\text{ПДК} - c_{\phi})^3 \sqrt{V_1 \cdot \Delta T}}}$$

По найденному таким образом значению высоты источника определяются значения коэффициентов: f , v_m , v'_m , f_e .

$$(9) \quad f = 1000 \frac{\omega_0^2 D}{H^2 \Delta T};$$

$$(10) \quad v_m = 0,65 \cdot 3 \sqrt{\frac{V_1 \Delta T}{H}}$$

$$(11) \quad v'_m = 1,3 \cdot \frac{\omega_0 \cdot D}{H_1}$$

$$(12) \quad f_e = 800 \cdot (v'_m)^3$$

Далее устанавливаются, в первом приближении, коэффициенты $m = m_1$ и $n = n_1$.

Если $m_1 \cdot n_1 \neq 1$, то по m_1 и n_1 определяется второе приближение $H = H_2$ по формуле:

$$H_2 = H_1 \cdot \sqrt{m_1 \cdot n_1}$$

Для $f_e < f < 100$ значение коэффициента m вычисляется при $f = f_e$.

Коэффициент m определяется по формулам:

при $f < 100$

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1\sqrt{f} + 0,34\sqrt[3]{f}} \quad (13)$$

при $f \geq 100$

$$m = \frac{1,47}{\sqrt[3]{f}} \quad (14)$$

Коэффициент n при $f < 100$ определяется в зависимости от v_M по формулам:

$$\text{при } v_M \geq 2 \quad n = 1 \quad (15)$$

$$\text{при } 0,5 \leq v_M < 2 \quad n = 0,532 \cdot v_M^2 - 2,13 \cdot v_M + 3,13 \quad (16)$$

$$\text{при } v_M < 0,5 \quad n = 4,4v_M \quad (17)$$

В общем случае $(i+1)$ -е приближение H_{i+1} определяется по формуле (18):

$$H_{i+1} = H_i \cdot \sqrt{\frac{m_i n_i}{m_{i-1} n_{i-1}}},$$

где m_i, n_i – соответствуют H_i , а m_{i-1}, n_{i-1} – H_{i-1} .

Здесь также, как и случае $\Delta T \approx 0$, уточнение значения H необходимо производить до тех пор, пока два последовательно найденных значения H_i и H_{i+1} практически не будут отличаться друг от друга (с точностью до 1 м).

Пример определения минимальной высоты источника выброса

Исходные данные:

- расход натурального топлива - 10 кг/с;
- зольность топлива на рабочую массу - 25%;
- доля золы в уносе - 0,85;
- доля твердых частиц, улавливаемых в золоуловителях - 0,92;
- содержание горючего в уносе отсутствует;
- диаметр устья трубы – 4м;
- вид выброса – зола;

- золоуловитель – электрофильтр;
- фоновая концентрация загрязнителя равна нулю;
- коэффициент, зависящий от температурной стратификации атмосферы -160
- скорость выхода газовой смеси из устья трубы - 0,7 м/с;
- разность между температурой выбрасываемой газовой смеси и температурой окружающего атмосферного воздуха – 100 °С.

Определяем расход газовой смеси

$$V_1 = \frac{\pi D^2}{4} \omega_0 = \frac{\pi \cdot 4^2}{4} \cdot 0,7 = 8,792 \text{ м}^3 / \text{с}$$

Расход выбрасываемых в атмосферу летучей золы и несгоревшего топлива осуществляется по формуле

$$M_{тв} = B \cdot \frac{A^p}{100 - \Gamma_{ун}} \alpha_{ун} \cdot (-\eta) \approx 10000 \cdot \frac{25}{100 - 0} \cdot 0,85 \cdot (-0,92) \approx 170,2 / \text{с}$$

где B — расход натурального топлива, г/с, т/год;

A^p — зольность топлива на рабочую массу, %;

$\alpha_{ун}$ — доля золы в уносе;

η — доля твердых частиц, улавливаемых в золоуловителях;

$\Gamma_{ун}$ — содержание горючего в уносе, % масс.

Минимальная высота одиночного источника выброса (трубы) H (м) определяется по формуле

$$H = \left[\frac{A \cdot M \cdot F \cdot D}{8 \cdot V_1 \cdot (\text{ПДК} - c_{\phi})} \right]^{\frac{3}{4}} = \left[\frac{160 \cdot 170 \cdot 2 \cdot 4}{8 \cdot 8,792 \cdot (0,15 - 0)} \right]^{\frac{3}{4}} = 1721 \text{ м}$$

где A – коэффициент, зависящий от температурной стратификации атмосферы;

M (г/с) – масса вредного вещества, выбрасываемого в атмосферу в единицу времени;

F – безразмерный коэффициент, учитывающий скорость оседания вредных веществ в атмосферном воздухе.

Значение безразмерного коэффициента F принимается:

- а) для газообразных вредных веществ и мелкодисперсных аэрозолей (пыли, золы и т. п., скорость упорядоченного оседания которых практически равна нулю) – 1;
- б) для мелкодисперсных аэрозолей при среднем эксплуатационном коэффициенте очистки выбросов (η) не менее 0,9 – 2; от 0,75 до 0,9 – 2,5; менее 0,75 и при отсутствии очистки – 3;

H (м) – высота источника выброса над уровнем земли;

ΔT (°C) – разность между температурой выбрасываемой газовой смеси T_r и температурой окружающего атмосферного воздуха T_b ;

ПДК для $SO_2 = 0,03$ мг/м³,

ПДК для золы = 0,15 мг/м³.

Определяем значение параметра W_0

$$w_0 \cdot \sqrt{\frac{10D}{\Delta T}} = 0,7 \cdot \sqrt{\frac{10 \cdot 4}{100}} = 0,44$$

Так как найденное значение

$$H > w_0 \cdot \sqrt{\frac{10D}{\Delta T}}$$

то значение минимальной высоты источника выбросов (трубы) определяется по формуле

$$H_1 = \sqrt{\frac{A \cdot M \cdot F}{(\text{ПДК} - c_{\phi}) \sqrt[3]{V_1 \cdot \Delta T}}} = \sqrt{\frac{160 \cdot 170 \cdot 2}{(0,15 - 0) \sqrt[3]{8,792 \cdot 100}}} = 194,57 \text{ м}$$

По найденному таким образом значению высоты определяются значения коэффициентов f , v_m , v , f_e по формулам 9 -12.

$$f_1 = 1000 \frac{\omega_0^2 D}{H_1^2 \Delta T} = 1000 \cdot \frac{0,7^2 \cdot 4}{194,57^2 \cdot 100} = 5,2 * 10^{-4}$$

$$v_{M1} = 0,65 \cdot 3 \sqrt{\frac{V_1 \Delta T}{H_1}} = 0,65 \cdot 3 \sqrt{\frac{8,792 \cdot 100}{194,57}} = 1,074$$

$$v'_{M1} = 1,3 \cdot \frac{\omega_0 \cdot D}{H_1} = 1,3 \cdot \frac{0,7 \cdot 4}{194,57} = 187 \cdot 10^{-4}$$

$$f_{e1} = 800 \cdot (v) ^3 = 800 \cdot (18,7 \cdot 10^{-3})^3 = 5,2 \cdot 10^{-3}$$

Устанавливаются в первом приближении коэффициенты $m = m_1$ и $n = n_1$.

Для $f_e < f < 100$ значение коэффициента m вычисляется при $f = f_e$.

Коэффициент m определяется по формуле

$$m_1 = \frac{1}{0,67 + 0,1\sqrt{f} + 0,34\sqrt[3]{f}} = \frac{1}{0,67 + 0,1 \cdot \sqrt{5,2 \cdot 10^{-4}} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{5,2 \cdot 10^{-4}}} = 1,06$$

Коэффициент n при $f < 100$ определяется по формуле

$$\begin{aligned} n_1 &= 0,532 \cdot v_M^2 - 2,13 \cdot v_M + 3,13 = \\ &= 0,532 \cdot 1,074^2 - 2,13 \cdot 1,074 + 3,13 = 1,45 \end{aligned}$$

Если $m_1 n_1 > 1$, то по m_1 и n_1 определяется второе приближение $H = H_2$ по формуле

$$H_2 = H_1 \cdot \sqrt{m_1 \cdot n_1}$$

$$m_1 \cdot n_1 = 1,06 \cdot 1,45 = 1,537$$

$$H_2 = H_1 \cdot \sqrt{m_1 \cdot n_1} = 194,57 \cdot \sqrt{1,537} = 241,26 \text{ м}$$

В общем случае $(i + 1)$ -е приближение H_{i+1} определяется по формуле

$$H_{i+1} = H_i \cdot \sqrt{\frac{m_i \cdot n_i}{m_{i-1} \cdot n_{i-1}}},$$

где m_i, n_i – соответствуют H_i , а m_{i-1}, n_{i-1} – H_{i-1} .

Здесь также, как и случае $\Delta T \approx 0$, уточнение значения H необходимо производить до тех пор, пока два последовательно найденных значения H_i и H_{i+1} практически не будут отличаться друг от друга (с точностью до 1 м).

Продолжаем расчеты по высоте H_2 .

$$f_2 = 1000 \cdot \frac{0,7^2 \cdot 4}{241,26^2 \cdot 100} = 3,36 \cdot 10^{-4}$$

$$v_{m2} = 0,65 \cdot 3 \sqrt{\frac{8,792 \cdot 100}{241,26}} = 1$$

$$v'_{m2} = 1,3 \cdot \frac{0,7 \cdot 4}{241,26} = 0,015$$

$$f_{e2} = 800 \cdot (0,015)^3 = 2,7 \cdot 10^{-3}$$

$$m_2 = \frac{1}{0,67 + 0,1 \cdot \sqrt{3,36 \cdot 10^{-4}} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{3,36 \cdot 10^{-4}}} = 1,437$$

$$n_2 = 0,532 \cdot 1 - 2,13 \cdot 1 + 3,13 = 1,532$$

$$m_2 \cdot n_2 = 1,44 \cdot 1,532 = 2,2$$

$$H_3 = H_2 \cdot \sqrt{\frac{m_2 n_2}{m_1 n_1}} = 241,26 \cdot \sqrt{\frac{2,2}{1,537}} = 288,6 \text{ м}$$

Так как $\Delta H > 1$ м, то расчеты продолжаем.

Результаты вычислений представим в виде таблицы.

$$H_4 = H_3 \cdot \sqrt{\frac{m_3 n_3}{m_2 n_2}}$$

$$f_3 = 1000 \cdot \frac{0,7^2 \cdot 4}{288,6^2 \cdot 100} = 2,35 \cdot 10^{-4}$$

$$v_{M3} = 0,65 \cdot 3 \sqrt{\frac{8,792 \cdot 100}{288,6}} = 0,94$$

$$v'_{M3} = 1,3 \cdot \frac{0,7 \cdot 4}{288,6} = 0,0126$$

$$f_{e3} = 800 \cdot \left(0,0126 \right)^3 = 1,6 \cdot 10^{-3}$$

$$m_3 = \frac{1}{0,67 + 0,1 \cdot \sqrt{2,35 \cdot 10^{-4}} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{2,35 \cdot 10^{-4}}} = 1,44$$

$$n_3 = 0,532 \cdot 1 - 2,13 \cdot 1 + 3,13 = 1,532$$

$$m_3 \cdot n_3 = 1,437 \cdot 1,532 = 2,2$$

$$H_4 = H_3 \cdot \sqrt{\frac{m_3 n_3}{m_2 n_2}} = 288,6 \cdot \sqrt{\frac{2,2}{2,2}} = 288,6 \text{ м}$$

Итак два последовательно найденных значения H_3 и H_4 не отличаются друг от друга.

	H	f	v_M	v'_M	f_e	m	n	$m n$
1	194,6	$5,2 \cdot 10^{-4}$	1,074	$18,7 \cdot 10^{-3}$	$5,2 \cdot 10^{-3}$	1,44	1,532	1,54
2	241,3	$3,36 \cdot 10^{-4}$	1,000	$15,0 \cdot 10^{-3}$	$2,7 \cdot 10^{-3}$	1,06	1,452	2,2
3	288,6	$2,35 \cdot 10^{-4}$	0,940	$12,6 \cdot 10^{-3}$	$1,6 \cdot 10^{-3}$	1,44	1,532	2,2
4	288,6	-	-	-	-	-	-	-

В результате получаем искомую высоту одиночного источника выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух (трубы) 288,6 метра.

Задание:

По приведенной выше методике определить минимальную высоту источника горячих выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, при следующих исходных данных в соответствии с вариантом индивидуального задания (табл. 1) результаты расчетов представить в виде вышеприведенной таблицы:

Исходные данные

Таблица 1

№ варианта	Расход натурального топлива B (кг/с)	Зольность топлива на рабочую массу A^p (%)	Доля золы в уносе $\alpha_{ун}$	Доля твердых частиц, улавливаемых в золоуловителях η	Диаметр устья трубы D (м)	Скорость выхода газовой смеси из устья трубы w_0 (м/с)	Разность температур ΔT
1	9,0	25	0,89	0,7	2,8	0,7	90
2	9,5	24	0,88	0,75	3,0	0,75	95
3	10,2	23	0,87	0,8	3,2	0,8	100
4	8,7	27	0,86	0,85	3,5	0,85	105
5	8,5	26	0,85	0,9	3,75	0,9	110
6	8,8	25	0,84	0,95	4,0	0,95	105
7	9,3	28	0,83	0,7	4,3	0,7	100
8	9,8	30	0,82	0,75	4,5	0,75	95
9	10,5	24	0,81	0,8	3,75	0,8	93
10	10,7	23	0,8	0,85	3,5	0,85	90

Расчеты провести при следующих условиях:

- ▣ Вид выброса – зола;
- ▣ Содержание горючего в уносе – отсутствует;
- ▣ Золоуловитель – электрофильтр;
- ▣ Коэффициент, зависящий от температурной стратификации атмосферы (А) – 160.