

Сжигание газообразного топлива (Цех №1. ИЗА №0001)

Расчет выделений загрязняющих веществ выполнен в соответствии с «Методикой определения выбросов загрязняющих веществ в атмосферу при сжигании топлива в котлах производительностью менее 30 тонн пара в час или менее 20 Гкал в час (утверждена Госкомэкологии России 07.07.1999).

Количественная и качественная характеристика загрязняющих веществ, выделяющихся (выбрасываемых) в атмосферу, приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристика выделений (выбросов) загрязняющих веществ в атмосферу

Загрязняющее вещество		Максимально разовый выброс, г/с	Годовой выброс, т/год
код	наименование		
0301	Азота диоксид (Азот (IV) оксид)	0,0274841	0,501585
0304	Азот (II) оксид (Азота оксид)	0,0044662	0,081508
0337	Углерод оксид	0,071	1,29575
0703	Бенз/а/пирен (3,4-Бензпирен)	5,08e-9	9,28e-8

Исходные данные для расчёта выделений (выбросов) загрязняющих веществ приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Исходные данные для расчёта

Наименование	Расчётный параметр		
	характеристика, обозначение	единица	значение
ИВ №000101. Природный газ, газопровод Уренгой-Надым-Пунга-Ухта			
	Максимальный разовый расход топлива, B'	нм ³ /с	0,02
	Расход топлива за год, B	тыс.нм ³ /год	365
	Низшая теплота сгорания топлива, Q'_i	МДж/нм ³	35,5
	Плотность газа, ρ_r	кг/нм ³	0,724
	Содержание серы в рабочей массе топлива, S^r	%	-
	Время работы котла, t	ч/год	5070
	Тип котла – водогрейный	-	да
	Коэффициент избытка воздуха в продуктах сгорания на выходе из топки, α''_T	-	1,1
	Потери тепла вследствие химической неполноты сгорания топлива, q_3	%	0,2
	Потери тепла от механической неполноты сгорания, q_4	%	-
	Максимальное теплонапряжение топочного объема, q_v'	кВт/м ³	405
	Среднее теплонапряжение топочного объема, q_v	кВт/м ³	404,956
	Объём сухих дымовых газов, образующихся при полном сгорании 1 нм ³ топлива, V_{ce}	нм ³ /нм ³	12,217
	Температура горячего воздуха, подаваемого для горения, $t_{гв}$	°С	30
	Массовая доля загрязняющего вещества:		
	0301. Азота диоксид (Азот (IV) оксид)	дол. ед.	0,8
	0304. Азот (II) оксид (Азота оксид)	дол. ед.	0,13

Принятые условные обозначения, расчётные формулы, а также расчётные параметры и их обоснование приведены ниже.

Оксиды азота

Суммарное количество оксидов азота NO_x в пересчете на NO_2 (в г/с, т/год), выбрасываемых в атмосферу с дымовыми газами, рассчитывается по формуле (1):

$$M_{NO_x} = B_p \cdot Q_i^r \cdot K_{NO_2}^r \cdot \beta_k \cdot \beta_t \cdot \beta_\alpha \cdot (1 - \beta_r) \cdot (1 - \beta_\delta) \cdot k_\Pi \quad (1)$$

где B_p - расчетный расход топлива, $нм^3/с$ или $тыс. нм^3/год$;

Q_i^r - низшая теплота сгорания топлива, $МДж/нм^3$;

$K_{NO_2}^r$ - удельный выброс оксидов азота при сжигании газа, $г/МДж$;

β_k - безразмерный коэффициент, учитывающий принципиальную конструкцию горелки;

β_t - безразмерный коэффициент, учитывающий температуру воздуха, подаваемого для горения;

β_α - безразмерный коэффициент, учитывающий влияние избытка воздуха на образование оксидов азота;

β_r - безразмерный коэффициент, учитывающий влияние рециркуляции дымовых газов через горелки на образование оксидов азота;

β_δ - безразмерный коэффициент, учитывающий ступенчатый ввод воздуха в топочную камеру;

k_Π - коэффициент пересчета, при определении выбросов в г/с $k_\Pi = 1$, при определении выбросов в т/год $k_\Pi = 10^{-3}$.

Для водогрейных котлов $K_{NO_2}^r$ считается по формуле (2):

$$K_{NO_2}^r = 0,0113 \cdot \sqrt{Q_T} + 0,03 \quad (2)$$

где Q_T - фактическая тепловая мощность котла по введенному в топку теплу, $МВт$, определяется по формуле (3):

$$Q_T = B_p \cdot Q_i^r \quad (3)$$

Расчетный расход топлива B_p , $нм^3/с$ (4):

$$B_p = (1 - q_4 / 100) \cdot B \quad (4)$$

где B - полный расход топлива на котел $нм^3/с$;

q_4 - потери тепла от механической неполноты сгорания топлива, %.

Коэффициент β_t определяется по формуле (5):

$$\beta_t = 1 + 0,002 \cdot (t_{26} - 30) \quad (5)$$

где t_{26} - температура горячего воздуха, °С.

При подаче газов рециркуляции в смеси с воздухом β_r определяется формулой (6):

$$\beta_r = 0,16 \cdot r \quad (6)$$

где r - степень рециркуляции дымовых газов, %.

Коэффициент β_δ определяется формулой (7):

$$\beta_\delta = 0,022 \cdot \delta \quad (7)$$

где δ - доля воздуха, подаваемого в промежуточную зону факела (в процентах от общего количества организованного воздуха).

Оксид углерода

Оценка суммарного количества выбросов оксида углерода, $г/с$ ($т/год$), может быть выполнена по соотношению (8):

$$M_{CO} = k_{\Pi} \cdot V \cdot C_{CO} \cdot (1 - q_4 / 100) \quad (8)$$

где V - расход топлива, $нм^3/с$ ($тыс. нм^3/год$);

C_{CO} - выход оксида углерода при сжигании топлива, $г/кг$;

q_4 - потери тепла вследствие механической неполноты сгорания топлива, %;

k_{Π} - коэффициент пересчета, при определении выбросов в $г/с$ $k_{\Pi} = 1$, при определении выбросов в $т/год$ $k_{\Pi} = 10^{-3}$.

Параметр C_{CO} определяется по формуле (9):

$$C_{CO} = q_3 \cdot R \cdot Q_i^r \quad (9)$$

где q_3 - потери тепла вследствие химической неполноты сгорания топлива, %;

Q_i^r - низшая теплота сгорания топлива, $МДж/нм^3$;

R - коэффициент, учитывающий долю потери тепла вследствие химической неполноты сгорания топлива, обусловленную наличием в продуктах неполного сгорания оксида углерода.

Бенз(а)пирен

Суммарное количество M_j загрязняющего вещества j , поступающего в атмосферу с дымовыми газами ($г/с$, $т/год$), определяется по формуле (10):

$$M_j = c_j \cdot V_{сг} \cdot V_p \cdot k_{\Pi} \quad (10)$$

где c_j - массовая концентрация загрязняющего вещества j в сухих дымовых газах при стандартном коэффициенте избытка воздуха $\alpha_0 = 1,4$ и нормальных условиях, $мг/нм^3$;

$V_{сг}$ - объем сухих дымовых газов, образующихся при полном сгорании $1 нм^3$ топлива, при $\alpha_0 = 1,4$, $нм^3/нм^3$ топлива;

V_p - расчетный расход топлива; при определении выбросов в $г/с$ V_p берется в $нм^3/с$; при определении выбросов в $т/год$ V_p берется в $тыс. нм^3/год$;

k_{Π} - коэффициент пересчета; при определении выбросов в $г/с$, $k_{\Pi} = 10^{-3}$, при определении выбросов в $т/год$, $k_{\Pi} = 10^{-6}$.

Расчетный расход топлива V_p , $нм^3/с$ или $тыс. нм^3/год$, определяется по формуле (11):

$$B_p = (1 - q_4 / 100) \cdot B \quad (11)$$

где B - полный расход топлива на котел $\text{нм}^3/\text{с}$ или $\text{тыс. нм}^3/\text{год}$

q_4 - потери тепла от механической неполноты сгорания топлива, %.

Концентрация бенз(а)пирена, $\text{мг}/\text{нм}^3$, в сухих продуктах сгорания природного газа на выходе из топочной зоны водогрейных котлов малой мощности определяется следующим образом:

для $\alpha''_T = 1,08 - 1,25$ по формуле (12):

$$c_{\text{бп}}^{\Gamma} = 10^{-6} \cdot (0,11 \cdot q_v - 7,0) \cdot K_D \cdot K_P \cdot K_{CT} / e^{3,5 \cdot (\alpha''_T - 1)} \quad (12)$$

для $\alpha''_T > 1,25$ по формуле (13):

$$c_{\text{бп}}^{\Gamma} = 10^{-6} \cdot (0,13 \cdot q_v - 5,0) \cdot K_D \cdot K_P \cdot K_{CT} / (1,3 \cdot e^{3,5 \cdot (\alpha''_T - 1)}) \quad (13)$$

где α''_T - коэффициент избытка воздуха в продуктах сгорания на выходе из топки;

q_v - теплонпряжение топочного объема, $\text{кВт}/\text{м}^3$;

K_D - коэффициент, учитывающий влияние рециркуляции дымовых газов на концентрацию бенз(а)пирена в продуктах сгорания;

K_P - коэффициент, учитывающий влияние нагрузки котла на концентрацию бенз(а)пирена в продуктах сгорания;

K_{CT} - коэффициент, учитывающий влияние ступенчатого сжигания на концентрацию бенз(а)пирена в продуктах сгорания.

Для расчета максимальных и валовых выбросов концентрация бенз(а)пирена приводятся к избыткам воздуха $\alpha_0 = 1,4$ по формуле (14):

$$c_j = c_{\text{бп}}^{\Gamma} \cdot \alpha''_T / \alpha_0 \quad (14)$$

где α''_T - коэффициент избытка воздуха в продуктах сгорания на выходе из топки.

Объем сухих дымовых газов при стандартном коэффициенте избытка воздуха $\alpha_0 = 1,4$ и нормальных условиях (температура 273°К и давление $101,3 \text{ кПа}$) определяется по уравнению (15):

$$V_{CT} = V^0_{\Gamma} + (\alpha_0 - 1) \cdot V^0 - V^0_{H_2O} \quad (15)$$

где V^0 , V^0_{Γ} и $V^0_{H_2O}$ - соответственно объемы воздуха, дымовых газов и водяных паров при стехиометрическом сжигании одного килограмма (1 нм^3) топлива, $\text{нм}^3/\text{кг}$ ($\text{нм}^3/\text{нм}^3$).

Для газообразного топлива расчет выполняют по химическому составу сжигаемого топлива по формулам (16-18):

$$V^0 = 0,0476 \cdot [0,5 \cdot CO + 0,5 \cdot H_2 + 1,5 \cdot H_2S + \Sigma(m + n / 4) \cdot C_m H_n - O_2] \quad (16)$$

$$V^0_{H_2O} = 0,01 \cdot [H_2 + H_2S + 0,5 \cdot \Sigma n \cdot C_m H_n + 0,124 \cdot d_{z.mл}] + 0,0161 \cdot V^0 \quad (17)$$

$$V^0_{\Gamma} = 0,01 \cdot [CO_2 + CO + H_2S + \sum m \cdot C_m H_n] + 0,79 \cdot V^0 + N_2 / 100 + V^0_{H_2O} \quad (18)$$

где CO , CO^2 , H_2 , H_2S , $C_m H_n$, N_2 , O_2 – соответственно содержание оксида углерода, диоксида углерода, водорода, сероводорода, углеводородов, азота и кислорода в исходном топливе, %; m и n - число атомов углерода и водорода соответственно; $d_{z.mл}$ - влагосодержание газообразного топлива, отнесенное к 1 нм³ сухого газа, г/нм³.

Расчёт годового и максимально разового выделения (выброса) загрязняющих веществ в атмосферу приведен ниже.

ИБ №000101. Природный газ, газопровод Уренгой-Надым-Пунга-Ухта

$$V'_{p} = (1 - 0 / 100) \cdot 0,02 = 0,02 \text{ нм}^3/\text{с};$$

$$V_p = (1 - 0 / 100) \cdot 365 = 365 \text{ тыс. нм}^3/\text{год};$$

$$Q'_{\Gamma} = 0,02 \cdot 35,5 = 0,71 \text{ МВт};$$

$$Q_{\Gamma} = (365 \cdot 10^3) / (5070 \cdot 3600) \cdot 35,5 = 0,71 \text{ МВт};$$

$$K'_{NO_2} = 0,0113 \cdot \sqrt{0,71} + 0,03 = 0,0395 \text{ г/МДж};$$

$$K_{NO_2} = 0,0113 \cdot \sqrt{0,71} + 0,03 = 0,0395 \text{ г/МДж};$$

$$\beta_t = 1 + 0,002 \cdot (30 - 30) = 1;$$

$$\beta_r = 0;$$

$$\beta_{\delta} = 0,022 \cdot 0 = 0;$$

$$C'_{CO} = 0,2 \cdot 0,5 \cdot 35,5 = 3,55 \text{ г/кг};$$

$$C_{CO} = 0,2 \cdot 0,5 \cdot 35,5 = 3,55 \text{ г/кг};$$

$$c'_{\text{бп}} = 10^{-6} \cdot (0,11 \cdot 405 - 7) \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 / (e^{3,5 \cdot (1,1 - 1)}) = 2,646e-5 \text{ мг/нм}^3;$$

$$c_{\text{бп}} = 10^{-6} \cdot (0,11 \cdot 404,956 - 7) \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 / (e^{3,5 \cdot (1,1 - 1)}) = 2,646e-5 \text{ мг/нм}^3;$$

$$\sum(m + n / 4) \cdot C_m H_n = (1+4/4) \cdot 98,72 + (2+6/4) \cdot 0,12 + (3+8/4) \cdot 0,01 + (4+10/4) \cdot 0,01 + (5+12/4) \cdot 0 = 197,975;$$

$$V^0 = 0,0476 \cdot (0,5 \cdot 0 + 0,5 \cdot 0 + 197,975 - 0) = 9,424 \text{ нм}^3/\text{нм}^3;$$

$$\sum m \cdot C_m H_n = 4 \cdot 98,72 + 6 \cdot 0,12 + 8 \cdot 0,01 + 1 \cdot 0,01 + 12 \cdot 0 = 395,78;$$

$$V^0_{H_2O} = 0,01 \cdot [0 + 0 + 0,5 \cdot 395,78 + 0,124 \cdot 1] + 0,0161 \cdot 9,424 = 2,132 \text{ нм}^3/\text{нм}^3;$$

$$\sum m \cdot C_m H_n = 1 \cdot 98,72 + 2 \cdot 0,12 + 3 \cdot 0,01 + 4 \cdot 0,01 + 5 \cdot 0 = 99,03;$$

$$V^0_{\Gamma} = 0,01 \cdot [0,14 + 0 + 0 + 99,03] + 0,79 \cdot 9,424 + 1 / 100 + 2,132 = 10,579 \text{ нм}^3/\text{нм}^3;$$

$$V_{\Gamma} = 10,579 + (1,4 - 1) \cdot 9,424 - 2,132 = 12,217 \text{ нм}^3/\text{нм}^3;$$

$$M'_{NOx\ 0301} = 0,02 \cdot 35,5 \cdot 0,0395 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,225 \cdot (1 - 0) \cdot (1 - 0) \cdot 1 \cdot 0,8 = 0,0274841 \text{ г/с};$$

$$M_{NOx\ 0301} = 365 \cdot 35,5 \cdot 0,0395 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,225 \cdot (1 - 0) \cdot (1 - 0) \cdot 10^{-3} \cdot 0,8 = 0,501585 \text{ т/год};$$

$$M'_{NOx\ 0304} = 0,02 \cdot 35,5 \cdot 0,0395 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,225 \cdot (1 - 0) \cdot (1 - 0) \cdot 1 \cdot 0,13 = 0,0044662 \text{ г/с};$$

$$M_{NOx\ 0304} = 365 \cdot 35,5 \cdot 0,0395 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,225 \cdot (1 - 0) \cdot (1 - 0) \cdot 10^{-3} \cdot 0,13 = 0,081508 \text{ т/год};$$

$$M'_{CO\ 0337} = 1 \cdot 0,02 \cdot 3,55 \cdot (1 - 0 / 100) \cdot 1 = 0,071 \text{ г/с};$$

$$M_{CO\ 0337} = 10^{-3} \cdot 365 \cdot 3,55 \cdot (1 - 0 / 100) \cdot 1 = 1,29575 \text{ т/год};$$

$$M'_{\text{БП}\ 0703} = 2,646e-5 \cdot 1,1 / 1,4 \cdot 12,217 \cdot 0,02 \cdot 10^{-3} \cdot 1 = 5,08e-9 \text{ г/с};$$

$$M'_{\text{БП}\ 0703} = 2,646e-5 \cdot 1,1 / 1,4 \cdot 12,217 \cdot 365 \cdot 10^{-6} \cdot 1 = 9,28e-8 \text{ т/год};$$