

Расчет выбросов загрязняющих веществ при сжигании природного газа

Расчет выполнен по ТКП 17.08-01-2006 (02120) "Порядок определения выбросов при сжигании топлива в котлах теплопроизводительностью до 25 МВт". Мн, 2006.

1 Расчет выбросов азота оксидов

Максимальное количество азота оксидов M_{NO_x} , г/с, выбрасываемых в атмосферный воздух с дымовыми газами, рассчитывается по формуле:

$$M_{NO_x} = V_s Q_i^r K_{NO_x} \beta_k \beta_t \beta_r \beta_\delta$$

где V_s - расчетный расход топлива, кг/с (m^3/c);

Q_i^r - низшая теплота сгорания топлива, при сжигании газообразного топлива МДж/нм³, при сжигании жидкого топлива МДж/кг;

K_{NO_x} - удельный выброс оксидов азота при сжигании газа, г/МДж, определяется по формуле:

$$K_{NO_x} = k_1 \cdot \sqrt{k_2 \cdot V_s \cdot Q_i^r} + k_3$$

где $k_1 =$ 0,01 для паровых котлов;
0,0113 для водогрейных котлов;

$k_2 =$ 1,59 для паровых котлов;
0,86 для водогрейных котлов;

$k_3 =$ 0,03 для газообразного топлива;
0,09 для жидкого топлива.

β_k - безразмерный коэффициент, учитывающий принципиальную конструкцию горелки,

$\beta_k =$ 1,0 при работе на жидком топливе;
1,0 для дутьевых горелок напорного типа;
1,6 для горелок инжекционного типа;
0,7 для горелок двухступенчатого сжигания.

β_t - безразмерный коэффициент, учитывающий температуру воздуха, подаваемого для горения; определяется по формуле:

$$\beta_t = 0,94 + 0,002 t_h,$$

где t_h - температура воздуха, подаваемого для горения, °С.

β_r - безразмерный коэффициент, учитывающий влияние рециркуляции дымовых газов через горелки на образование оксидов азота, определяется по формуле:

$$\beta_r = 1 - k_4 \cdot \sqrt{r}$$

где $k_4 =$ 0,16 для газообразного топлива;
0,17 для жидкого топлива;

r - степень рециркуляции дымовых газов, %.

Для котлов, не оснащенных системой рециркуляции дымовых газов,

$$\beta_r = 1.$$

β_δ - безразмерный коэффициент, учитывающий ступенчатый ввод воздуха в топочную камеру, определяется по формуле:

$$\beta_\delta = 1 - k_5 \delta,$$

где $k_5 =$ 0,022 для газообразного топлива;
0,018 для жидкого топлива;

δ - доля воздуха, подаваемого в промежуточную зону факела, %.

Для котлов, не оснащенных ступенчатым вводом воздуха,

$$\beta_\delta = 1.$$

Валовый выброс азота оксидов M_{NOx}^{te} , (т/год), поступающих в атмосферный воздух с дымовыми газами, рассчитывается по формуле:

$$M_{NOx}^{te} = 10^{-3} V_s Q_i^r K_{NOx} \beta_k \beta_r \beta_\delta$$

2 Расчет выбросов углерода оксида

Максимальное количество углерода оксида M_{CO} , г/с, выбрасываемого в атмосферный воздух с дымовыми газами, рассчитывается по формуле:

$$M_{CO} = V_s C_{CO},$$

где V_s - расчетный расход топлива, кг/с (m^3/c);

C_{CO} - выход оксида углерода при сжигании топлива, г/кг ($г/м^3$), рассчитывается по формуле:

$$C_{CO} = q_3 R Q_i^r$$

где q_3 - потери теплоты вследствие химической неполноты сгорания топлива, %; определяются по таблице на стр. 13;

R - коэффициент, учитывающий долю потери теплоты вследствие химической неполноты сгорания топлива, обусловленной наличием в продуктах сгорания оксида углерода;

$R =$ 0,65 для жидкого топлива;
0,5 для газообразного топлива;

Q_i^r - низшая теплота сгорания топлива МДж/кг (МДж/м³).

Валовый выброс углерода оксида M_{CO}^{te} т/год, поступающего в атмосферный воздух с дымовыми газами, рассчитывается по формуле:

$$M_{CO}^{te} = 10^{-3} V_s C_{CO}$$

3 Расчет выбросов диоксида серы

Максимальное количество диоксида серы, г/с, рассчитывается по формуле:

$$MSO_2 = 0,02 V S^r (1 - \eta_{S1})(1 - \eta_{S2}) 10^3,$$

где V - расчетный расход топлива кг/с;

S^r - максимальное содержание серы в топливе, %;

η_{S1} - доля оксидов серы, связываемых летучей золой в котле, определяется по приложению Г;

η_{S2} - доля оксидов серы, улавливаемых в золоуловителе; для сухих золоуловителей принимается равной 0, для мокрых - определяется по приложению Г.

Валовой выброс диоксида серы рассчитывается по формуле:

$$MSO_2^{te} = 0,02 BS^r(1 - \eta_{S1})(1 - \eta_{S2}),$$

где S^r - среднее содержание серы в топливе, %.

При наличии в топливе сероводорода дополнительное количество оксидов серы определяется по формуле:

$$MSO_2 = 0,00188C_sB$$

где C_s - содержание сероводорода в топливе (%).

4 Расчет объема сухих дымовых газов

Объем сухих дымовых газов при коэффициенте избытка воздуха α и нормальных условиях, образующихся при полном сгорании топлива, рассчитывается по формуле:

$$V_{dry} = B_s V_{c.r.}^0 = B_s (V_{RO_2} + V_{N_2}^0 + (\alpha - 1)V^0),$$

где B_s - расчетный расход топлива, кг/с или м³/с, рассчитывается по формуле:

$$B_s = (1 - q_4/100) B,$$

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

$q_4 =$
0 для газообразного топлива;
0,1 для мазута и нефти;
0,08 для дизельного и печного топлива.

B - фактический расход топлива на работу котла на максимальном режиме горения, рассчитывается по формуле:

$$B = \frac{100 N}{Q_i^r \eta}$$

N - расчетная нагрузка котла, МВт;

Q_i^r - низшая теплота сгорания топлива МДж/кг (МДж/м³);

η - коэффициент полезного действия "брутто" котла на расчетной нагрузке, %.

$V_{c.r.}^0$ - теоретический объем сухих дымовых газов.

Теоретический объем воздуха V^0 , м³/м³, необходимый для полного сгорания

1 м³ газообразного топлива, рассчитывается по формуле:

$$V^0 = 0,0476[0,5CO + 0,5H_2 + 1,5H_2S + \sum(m+n/4)C_mH_n - O_2]$$

где CO , H_2 , H_2S , C_mH_n , O_2 - соответственно содержание оксида углерода, водорода, сероводорода, углеводородов и кислорода в исходном топливе, % об.;

m и n - число атомов углерода и водорода соответственно.

Теоретический объем трехатомных газов VRO_2 , m^3/m^3 , полученный при полном сжигании $1 m^3$ газообразного топлива, рассчитывается по формуле:

$$VRO_2 = 0,01[CO_2 + CO + H_2S + \sum m C_m H_n]$$

где CO_2 , CO , H_2S , $C_m H_n$ - соответственно содержание диоксида углерода, оксида углерода, сероводорода, углеводородов в исходном топливе, % об.;
 m и n - число атомов углерода и водорода соответственно.

Теоретический объем азота $V^o N_2$, m^3/m^3 , полученный при полном сжигании $1 m^3$ газообразного топлива, рассчитывается по формуле:

$$V^o N_2 = 0,79 * V^o + N_2 / 100$$

где N_2 - содержание азота в исходном топливе, % об.;
 V^o - теоретический объем воздуха, необходимый для полного сгорания $1 m^3$ топлива.

Теоретический объем водяных паров $V^o H_2O$, m^3/m^3 , полученный при полном сжигании $1 m^3$ газообразного топлива, рассчитывается по формуле:

$$V^o H_2O = 0,01[H_2 + H_2S + 0,5 \sum n C_m H_n + 0,124 d_{г.тл.}] + 0,0161 V^o$$

где H_2 , H_2S , $C_m H_n$ - соответственно содержание водорода, сероводорода, углеводородов в исходном топливе, % об.;
 m и n - число атомов углерода и водорода соответственно;
 $d_{г.тл.}$ - влагосодержание газообразного топлива, $г/м^3$;
 V^o - теоретический объем воздуха, необходимый для полного сгорания $1 m^3$ топлива.

1 Расчет выбросов от газового котла мощностью 100 кВт (на 1 котел) на отопительный период

$N =$	0,1	МВт	
$\eta =$	97	%	
$Q_i^r =$	33,53	МДж/нм ³	
$V = V_s =$	0,00307	нм ³ /с	
$T =$	4680	ч	
	37,9	тыс. нм ³ /год	
$C_{NOx} =$	80,0	мг/нм ³	(принято по СТБ 1626.1-2006 при $\alpha=1,4$)
$C_{CO} =$	80,0	мг/нм ³	(принято по СТБ 1626.1-2006 при $\alpha=1,4$)
$C_{NOx} =$	93,3	мг/нм ³	(пересчитано при $\alpha=1,2$)
$C_{CO} =$	93,3	мг/нм ³	(пересчитано при $\alpha=1,2$)

1.1 Расчет объема сухих дымовых газов

$$q_4 = 0$$

$V = B_S =$	0,003	нм ³ /с
$a =$	1,2	
$V_{c.r.}^o =$	12,37	м ³ /м ³
$V_{dry} =$	0,038	нм ³ /с
	2194092	нм ³ /год
$V_{damp} =$	0,045	нм ³ /с

1.2 Расчет выбросов оксидов азота

$M_{NO_x} =$	0,0035	г/с
$M_{NO_x}^{te} =$	0,2048	т/год

1.3 Расчет выбросов оксида углерода

$M_{CO} =$	0,0035	г/с
$M_{CO}^{te} =$	0,2048	т/год

Параметры газовой смеси на выходе из источника:

$V_H =$	0,045	нм ³ /с
$V_{\phi} =$	$V_H \cdot \frac{273 + T_{\Gamma}}{273}$	
$T_{\Gamma} =$	128	°C
$V_{\phi} =$	0,066	м ³ /с

Скорость отходящих дымовых газов

$d =$	1,0	м
$W_o =$	0,084	м/с

Определение выбросов тяжелых металлов

Расчет выполнен по ТКП 17.08-14-2011 (02120) "Правила расчета выбросов тяжелых металлов"

1.1 Максимальный выброс i -го тяжелого металла E_i (г/с) при сжигании топлива в топливосжигающей установке на основании удельных показателей выбросов тяжелых металлов рассчитывается по формуле:

$$E_i = A_j \cdot F_{ij} \cdot 10^{-3}$$

где: A_j - расход топлива j в топливосжигающей установке, т/с (для газообразного топлива - м³/с);

F_{ij} - удельный показатель выбросов i -го тяжелого металла при сжигании топлива, г/т (для газообразного топлива , г/тыс.м³), определяемый по таблицам А.3, А.4

(приложение А)

1.2 Валовый выброс i -го тяжелого металла E_i^{te} (т/год) при сжигании топлива в топливосжигающей установке на основании удельных показателей выбросов тяжелых металлов рассчитывается по формуле:

$$E_i^{te} = A_j^{tf} \cdot F_{ij} \cdot 10^{-6}$$

где: A_j^{tf} - расход топлива j в топливосжигающей установке, т/год (для газообразного топлива - тыс.м³/год);

F_{ij} - удельный показатель выбросов i -го тяжелого металла при сжигании топлива, г/т (для газообразного топлива, г/тыс.м³), определяемый по таблицам А.3, А.4 (приложение А)

Исходные данные

марка котла	газовый котел 100 кВт
мощность	N= 0,1 МВт
топливо	природный газ
пылегазоочистное оборудование	отсутствует
расход топлива	A= 0,003 нм ³ /с A ^{tf} = 37,9 тыс. нм ³ /год

Удельные показатели выбросов тяжелых металлов при сжигании газообразного топлива (по таблице А.4 приложения А)

Топливо	Ед. изм.	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Природный газ	г/тыс. м ³	-	-	-	-	0,0014	-	-	-

Результаты расчета

Выбросы ртути от одного газового котла мощностью 0,024 МВт составят:

$$E_{Hg} = 4,30E-09 \text{ г/с}$$

$$E_{Hg}^{te} = 5,31E-08 \text{ т/год}$$

Определение выбросов СОЗ с использованием удельных показателей выбросов

Расчет выполнен по ТКП 17.08-13-2011 (02120) "Правила расчета выбросов стойких органических загрязнителей"

1.1 Расчет выбросов диоксинов/фуранов

Валовый выброс диоксинов/фуранов E_d , гЭТ/год, при сжигании топлива для каждого вида топлива рассчитывается по формуле:

$$E_d = \sum_{j,k} A_{j,k} \cdot k_j \cdot EF_{j,k} \cdot 10^{-6}$$

- где: $A_{j,k}$ - объем сожженного топлива j в топливосжигающих установках класса k , для твердых и жидких видов топлива -т/год, для газообразного топлива - тыс.м³/год;
 k - низшая теплота сгорания топлива вида j , определяемая в соответствии с ТКП 17.08-01, для твердых и жидких видов топлива - ГДж/т, для газообразного топлива - ГДж/тыс.м³;
 $EF_{j,k}$ - удельный показатель выбросов диоксинов/фуранов при сжигании топлива вида j в топливосжигающих установках класса k , мкг ЭТ/ГДж, определяемые по таблицам А.1, А.2 приложения А.

Исходные данные

марка котла	газовый котел 100 кВт
мощность	N= 0,1 МВт
топливо	природный газ
пылегазоочистное оборудование	отсутствует
расход топлива	A= 37,9 тыс. нм ³ /год
низшая теплота сгорания топлива	k= 33,53 ГДж/тыс.нм ³

Удельные показатели выбросов диоксинов/фуранов при сжигании газообразного топлива, мкг ЭТ/ГДж (по таблице А.2 приложения А)

Установка	Мощность	Природный газ
Газовый котел	0,024 МВт	0,002

Результаты расчета

Выбросы диоксинов/фуранов от одного газового котла мощностью 0,1 МВт составят:

$$E_d = 2,54E-06 \text{ г ЭТ/год}$$

1.2 Расчет выбросов ПАУ

Валовый выброс индикаторных соединений ПАУ E_{PAH} , кг/год, при сжигании топлива рассчитывается по формуле:

$$E_{PAH} = \sum_{j,k} A_{j,k} \cdot k_j \cdot EF_{i,j,k} \cdot 10^{-6}$$

- где: $A_{j,k}$ - объем сожженного топлива j в топливосжигающих установках класса k , для

твердых и жидких видов топлива -т/год, для газообразного топлива - тыс.м³/год;
 k- низшая теплота сгорания топлива вида j, определяемая в соответствии с
 ТКП 17.08-01, для твердых и жидких видов топлива - ГДж/т, для газообразного
 топлива - ГДж/тыс.м³;

EF_{i,j,k}- удельный показатель выбросов индикаторного соединения ПАУ i при сжигании
 топлива вида j в топливосжигающих установках класса k, мг/ГДж, определяемый
 по таблицам В.1, В.2, В.3, В.4 приложения В.

Исходные данные

марка котла	газовый котел 100 кВт
мощность	N= 0,1 МВт
топливо	природный газ
пылегазоочистное оборудование	отсутствует
расход топлива	A= 37,9 тыс. нм ³ /год
низшая теплота сгорания топлива	k= 33,53 ГДж/тыс.нм ³

Удельные показатели выбросов ПАУ при сжигании газообразного топлива, мг/ГДж
 (по таблице В.3 приложения В)

Топливо	Бензо(b)- флуорантен	Бензо(k)- флуорантен	Бензо/a/пирен	Индено(1,2,3- с,d)пирен
Природный газ	0,0008	0,0008	0,0006	0,0008

Результаты расчета валовых выбросов СОЗ от газового котла мощностью 100 кВт

Диоксины/ фураны, г ЭТ	Бензо(b)- флуорантен, кг	Бензо(k)- флуорантен, кг	Бензо/a/пирен, кг	Индено(1,2,3- с,d)пирен, кг	Сумма 4-х ПАУ, кг
2,54E-06	1,02E-06	1,02E-06	7,62E-07	1,02E-06	3,81E-06

1 Расчет выбросов от газового котла мощностью 100 кВт (на 1 котел)на горячее водоснабжение

N=	0,1	МВт
η=	97	%
Q _i ^r =	33,53	МДж/нм ³
V = V _S =	0,00307	нм ³ /с
T=	5110	ч
	41,4	тыс. нм ³ /год

$C_{NOx} =$	80,0	мг/нм ³	(принято по СТБ 1626.1-2006 при $\alpha=1,4$)
$C_{CO} =$	80,0	мг/нм ³	(принято по СТБ 1626.1-2006 при $\alpha=1,4$)
$C_{NOx} =$	93,3	мг/нм ³	(пересчитано при $\alpha=1,2$)
$C_{CO} =$	93,3	мг/нм ³	(пересчитано при $\alpha=1,2$)

1.1 Расчет объема сухих дымовых газов

$q_4 =$	0	
$V = V_S =$	0,003	нм ³ /с
$a =$	1,2	
$V_{с.г.}^o =$	12,37	м ³ /м ³
$V_{dry} =$	0,038	нм ³ /с
	2616923	нм ³ /год
$V_{damp} =$	0,045	нм ³ /с

1.2 Расчет выбросов оксидов азота

$M_{NOx} =$	0,0035	г/с
$M_{NOx}^{te} =$	0,2442	т/год

1.3 Расчет выбросов оксида углерода

$M_{CO} =$	0,0035	г/с
$M_{CO}^{te} =$	0,2442	т/год

Параметры газовой смеси на выходе из источника:

$V_H =$	0,045	нм ³ /с
$V_{\phi} =$	$V_H \cdot \frac{273 + T_{\Gamma}}{273}$	
$T_{\Gamma} =$	128	°C
$V_{\phi} =$	0,066	м ³ /с

Скорость отходящих дымовых газов

$d =$	1,0	м
$W_o =$	0,084	м/с

Определение выбросов тяжелых металлов

Расчет выполнен по ТКП 17.08-14-2011 (02120) "Правила расчета выбросов тяжелых металлов"

1.1 Максимальный выброс i -го тяжелого металла E_i (г/с) при сжигании топлива в топливосжигающей установке на основании удельных показателей выбросов тяжелых металлов рассчитывается по формуле:

$$E_i = A_j \cdot F_{ij} \cdot 10^{-3}$$

где: A_j - расход топлива j в топливосжигающей установке, т/с (для газообразного топлива - м³/с);

F_{ij} - удельный показатель выбросов i -го тяжелого металла при сжигании топлива, г/т (для газообразного топлива , г/тыс.м³), определяемый по таблицам А.3, А.4 (приложение А)

1.2 Валовый выброс i -го тяжелого металла E_i^{te} (т/год) при сжигании топлива в топливосжигающей установке на основании удельных показателей выбросов тяжелых металлов рассчитывается по формуле:

$$E_i^{te} = A_j^{tf} \cdot F_{ij} \cdot 10^{-6}$$

где: A_j^{tf} - расход топлива j в топливосжигающей установке, т/год (для газообразного топлива - тыс.м³/год);

F_{ij} - удельный показатель выбросов i -го тяжелого металла при сжигании топлива, г/т (для газообразного топлива , г/тыс.м³), определяемый по таблицам А.3, А.4 (приложение А)

Исходные данные

марка котла	газовый котел 100 кВт
мощность	N= 0,1 МВт
топливо	природный газ
пылегазоочистное оборудование	отсутствует
расход топлива	A= 0,003 м ³ /с
	A ^{tf} = 41,4 тыс. м ³ /год

Удельные показатели выбросов тяжелых металлов при сжигании газообразного топлива (по таблице А.4 приложения А)

Топливо	Ед. изм.	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Природный газ	г/тыс. м ³	-	-	-	-	0,0014	-	-	-

Результаты расчета

Выбросы ртути от одного газового котла мощностью 0,1 МВт составят:

$$E_{Hg} = 4,30E-09 \text{ г/с}$$

$E_{Hg}^{te} =$

5,80E-08 т/год

Определение выбросов CO₂ с использованием удельных показателей выбросов

Расчет выполнен по ТКП 17.08-13-2011 (02120) "Правила расчета выбросов стойких органических загрязнителей"

1.1 Расчет выбросов диоксинов/фуранов

Валовый выброс диоксинов/фуранов E_d , гЭТ/год, при сжигании топлива для каждого вида топлива рассчитывается по формуле:

$$E_d = \sum_{j,k} A_{j,k} \cdot k_j \cdot EF_{j,k} \cdot 10^{-6}$$

- где: $A_{j,k}$ - объем сожженного топлива j в топливосжигающих установках класса k , для твердых и жидких видов топлива - т/год, для газообразного топлива - тыс.м³/год;
 k - низшая теплота сгорания топлива вида j , определяемая в соответствии с ТКП 17.08-01, для твердых и жидких видов топлива - ГДж/т, для газообразного топлива - ГДж/тыс.м³;
 $EF_{j,k}$ - удельный показатель выбросов диоксинов/фуранов при сжигании топлива вида j в топливосжигающих установках класса k , мкг ЭТ/ГДж, определяемые по таблицам А.1, А.2 приложения А.

Исходные данные

марка котла	газовый котел 100 кВт
мощность	N= 0,1 МВт
топливо	природный газ
пылегазоочистное оборудование	отсутствует
расход топлива	A= 41,4 тыс. нм ³ /год
низшая теплота сгорания топлива	k= 33,53 ГДж/тыс.нм ³

Удельные показатели выбросов диоксинов/фуранов при сжигании газообразного топлива, мкг ЭТ/ГДж (по таблице А.2 приложения А)

Установка	Мощность	Природный газ
Газовый котел	0,024 МВт	0,002

Результаты расчета

Выбросы диоксинов/фуранов от одного газового котла мощностью 0,1 МВт составят:

$E_d =$ 2,78E-06 г ЭТ/год

1.2 Расчет выбросов ПАУ

Валовый выброс индикаторных соединений ПАУ $E_{РАИ}$, кг/год, при сжигании топлива рассчитывается по формуле:

$$E_{РАИ} = \sum_{j,k} A_{j,k} \cdot k_j \cdot EF_{i,j,k} \cdot 10^{-6}$$

- где: $A_{j,k}$ - объем сожженного топлива j в топливосжигающих установках класса k , для твердых и жидких видов топлива - т/год, для газообразного топлива - тыс.м³/год;
 k - низшая теплота сгорания топлива вида j , определяемая в соответствии с ТКП 17.08-01, для твердых и жидких видов топлива - ГДж/т, для газообразного топлива - ГДж/тыс.м³;
 $EF_{i,j,k}$ - удельный показатель выбросов индикаторного соединения ПАУ i при сжигании топлива вида j в топливосжигающих установках класса k , мг/ГДж, определяемый по таблицам В.1, В.2, В.3, В.4 приложения В.

Исходные данные

марка котла	газовый котел 100 кВт
мощность	N= 0,1 МВт
топливо	природный газ
пылегазоочистное оборудование	отсутствует
расход топлива	A= 41,4 тыс. нм ³ /год
низшая теплота сгорания топлива	k= 33,53 ГДж/тыс.нм ³

Удельные показатели выбросов ПАУ при сжигании газообразного топлива, мг/ГДж (по таблице В.3 приложения В)

Топливо	Бензо(b)-флуорантен	Бензо(k)-флуорантен	Бензо/a/пирен	Индено(1,2,3-c,d)пирен
Природный газ	0,0008	0,0008	0,0006	0,0008

Результаты расчета валовых выбросов СОЗ от газового котла мощностью 100 кВт

Диоксины/фураны, г ЭТ	Бензо(b)-флуорантен, кг	Бензо(k)-флуорантен, кг	Бензо/a/пирен, кг	Индено(1,2,3-c,d)пирен, кг	Сумма 4-х ПАУ, кг
2,78E-06	1,11E-06	1,11E-06	8,33E-07	1,11E-06	4,16E-06