

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ (МИИТ)

Кафедра «Теплоэнергетика железнодорожного транспорта»

Н.Б. ГОРЯЧКИН, А.С. СЕЛИВАНОВ

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫБРОСОВ
ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ
КОТЕЛЬНОЙ С КОТЛАМИ МАЛОЙ
МОЩНОСТИ**

*Методические указания
к курсовому и дипломному проектированию*

МОСКВА–2005

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ (МИИТ)

Кафедра «Теплоэнергетика железнодорожного транспорта»

Н.Б. Горячкин, А.С. Селиванов

М.У. Горячкин Н.Б. уч.6 Утверждено
№2168 Определение выбросов за редакционно-издательским
03-11640 грязняющих веществ ГО5 советом университета



**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ
КОТЕЛЬНОЙ С КОТЛАМИ МАЛОЙ МОЩНОСТИ**

Методические указания к курсовому и дипломному
проектированию для студентов специальностей
«Промышленная теплоэнергетика»,
«Безопасность жизнедеятельности в техносфере»

Москва – 2005

УДК 621.182:662.76

Г 71

Горячкин Н.Б. , Селиванов А.С. Определение выбросов загрязняющих веществ котельной с котлами малой мощности: Методические указания к курсовому и дипломному проектированию – М.: МИИТ, 2005. - 26 с.

Методические указания направлены на приобретение практических навыков расчетного определения количества выбросов загрязняющих веществ в атмосферу котельной при сжигании различных видов топлива в котлах малой мощности.

© Московский государственный университет путей сообщения (МИИТ), 2005

ВВЕДЕНИЕ

На предприятиях железнодорожного транспорта эксплуатируются более 6700 котельных, в которых установлено порядка 13500÷14000 паровых и водогрейных котлов (в основном малой мощности) более 100 различных типов и модификаций.

72,5% котельных работают на углях, 9,5% на газе, 6,5% на мазуте, остальные на прочих видах котельно-печного топлива. Годовое потребление топлива составляет порядка 5,5 млн. т у. т., а выбросы загрязняющих веществ в атмосферу достигают – 0,375 млн. т.

В выбросах из топочных устройств котлов обнаружено более 200 загрязняющих веществ. К числу основных, нормируемых загрязняющих веществ относят твердые продукты сгорания (летучую золу с недогоревшими частицами кокса), окислы серы, азота и углерода, бензапирен.

При горении топлива в топках котлоагрегатов происходит соединение горючих элементов топлива с кислородом, сопровождающееся выделением теплоты.

При заниженных коэффициентах избытка воздуха или локальном недостатке кислорода при смесеобразовании в топке образуются СО и другие продукты неполного сгорания (водород, углеводороды и сажа), при этом количество выделяющейся теплоты меньше, чем при полном сгорании.

В процессе горения при высоких температурах углеводороды топлива разлагаются на более простые (формальдегид, ацетилен и др.). Последние не только окисляются, но и, участвуя в реакциях циклизации и дегидратации, образуют канцерогенные полициклические аро-

матические углеводороды (ПАУ) и в частности бензапирен $C_{20}H_{12}$. При недостатке окислителя и малом времени пребывания в зоне горения часть канцерогенных углеводородов не сгорает и уходит с дымовыми газами (вместе с сажистыми частицами).

Суммарный выход оксидов серы (SO_2 и SO_3) определяется содержанием серы в топливе. Горючая сера входит в состав высокомолекулярных органических соединений топлива и в виде колчеданной серы - в минеральную его часть. При сжигании сернистых топлив горючая сера окисляется в основном до сернистого ангидрида SO_2 , а 1-5% - до серного ангидрида SO_3 . В процессе сжигания топлива часть оксидов серы связывается щелочными компонентами золы и шлака.

Суммарное количество оксидов азота NO_x , образующееся при горении топлив в топочных камерах, складывается из двух составляющих, полученных в результате окисления кислородом азота воздуха («воздушные» оксиды) и азота топлива («топливные» оксиды). Первая составляющая имеет место во всех случаях независимо от состава топлива и определяется температурой процесса горения, концентрацией азота и кислорода и временем их пребывания в высокотемпературной зоне топки. Оксиды азота NO_x (на 95% состоящие из NO) образуются даже при нормальном режиме горения, а при сжигании природного газа могут на 95-98% определять суммарную токсичность выбросов. После выхода из источника выбросов (трубы) NO довольно быстро (за 1-4 часа) частично окисляется до более токсичного NO_2 .

При сжигании твердого и жидкого топлива в окружающую среду поступают твердые продукты сгорания, которые представляют собой

смесь летучей золы топлива и коксового остатка. Летучая зола - часть золы топлива, уносимая из котла дымовыми газами. При слоевом сжигании топлива доля уноса золы составляет 10-20%. Основная часть зольности топлива удаляется из котла в виде шлака, некоторое количество оседает на поверхностях нагрева. Коксовый остаток (несгоревшие частицы топлива) при сжигании твердого топлива и частицы сажи при сжигании мазута - это продукты механического недожога топлива. В составе золы, кроме основных компонентов содержатся токсичные микропримеси, в основном это оксиды тяжелых металлов V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Sr, Pb, Hg, U. Содержание этих элементов в летучей золе углей достигает сотен г/т золы. Зола некоторых бурых углей - прекрасное сырье для получения урана. Установлено, что токсичные микропримеси золы твердого топлива сконцентрированы в основном во фракциях с размером частиц от 3 до 15 мкм.

Мазутная зола вообще в основном состоит из оксидов металлов, в ней много токсичной пятиоксида ванадия V_2O_5 . До 85% V_2O_5 в золе мазута содержится во фракциях с размером частиц менее 50 мкм, 50% - во фракциях до 15 мкм. В виде аэрозоля (в составе субмикронных частиц) особо токсичные микропримеси могут длительное время находиться в атмосферном воздухе и попадать в организм человека. Это необходимо учитывать при разработке устройств улавливания летучей золы и специальных мероприятий по снижению выбросов в атмосферу.

Содержание любых загрязняющих веществ в атмосферном воздухе или в дымовых газах (при движении их по тракту котла) характеризуют концентрацией. Массовая концентрация C , $мг/м^3$ - это масса

вещества в единице объема газа при нормальных физических условиях (НФУ). Для газообразных загрязняющих веществ удобна объемная концентрация I , выраженная в «частях на миллион» (ppm). При этом: $1 \text{ ppm} = 1 \text{ нсм}^3/\text{нм}^3 = 1 \text{ см}^3/\text{м}^3 = 10^{-4} \% \text{ об.} = 10^{-6} \text{ нм}^3/\text{нм}^3$.

Массовая концентрация по известной объемной определяется по выражению:

$$C = I \cdot \rho'';$$

где ρ'' - плотность газа при НФУ, $\text{кг}/\text{нм}^3$. Для основных газообразных загрязняющих веществ в продуктах сгорания топлива значения ρ'' составляют:

$$\rho''_{NO_2} = 2,00 \text{ кг}/\text{нм}^3 ; \quad \rho''_{NO} = 1,34 \text{ кг}/\text{нм}^3 ; \quad \rho''_{CO} = 1,25 \text{ кг}/\text{нм}^3 ; \\ \rho''_{SO_2} = 2,86 \text{ кг}/\text{нм}^3 .$$

Концентрации найденные путем инструментальных измерений ($C^{изм}$) всегда относятся к сухим продуктам сгорания при коэффициенте избытка воздуха α в месте отбора пробы. По формуле

$$C = C^{изм} \cdot \frac{\alpha}{\alpha_0}$$

результаты измерений приводят к любым другим, в том числе «стандартным», коэффициентам избытка воздуха α_0 при необходимости сопоставления их друг с другом или с нормативными значениями (например, по ГОСТ 30735-2001 предельно допустимые концентрации отнесены к $\alpha_0=1$).

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

При проектировании расчет выбросов загрязняющих веществ с дымовыми газами котлов малой мощности должен проводиться 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», утвержденной в установленном порядке в 1999 г.

Расчетные зависимости, приведенные в настоящих методических указаниях соответствуют «Методике...» и адаптированы под применение единой размерности одноименных величин во всех уравнениях. При определении максимальных выбросов загрязняющих веществ в г/с величину расхода топлива в кг/с принимают исходя из наибольшей нагрузки котельной установки за отчетный период.

При определении валовых выбросов загрязняющих веществ за год подставляют годовой расход топлива в т/год. Количество выбросов будет получено в кг/год.

При определении выбросов котельной в целом суммируют выбросы отдельных котлов.

Ниже приведены величины, численные значения которых и размерности одинаковы во всех уравнениях.

B_p - расчетный расход топлива, кг/с

$$B_p = B \cdot \left(1 - \frac{q_4}{100} \right),$$

где B - фактический расход топлива на котел в кг/с; q_4 — потери теплоты от механической неполноты сгорания топлива, %.

Q_T - фактическая тепловая мощность котла по введенному в топку теплу, МВт, определяется по формуле

$$Q_T = B_p \cdot Q_i^r,$$

где Q_i^r - низшая теплота сгорания топлива в МДж/кг для твердого и жидкого топлива и в МДж/нм³ – для газообразного.

q_R - тепловое напряжение зеркала горения, МВт/м², определяется по формуле

$$q_R = Q_T / F,$$

где F – площадь зеркала горения (определяется по паспортным данным котельной установки или по данным [1]), м²;

q_v - теплонепределение топочного объема, МВт/м³.

При сжигании проектного топлива величина q_v берется из технической документации на котельное оборудование;

при сжигании непроектного топлива величину q_v рассчитывают по соотношению

$$q_v = B_p \cdot Q_i^r / V_m,$$

где V_m - объем топочной камеры, м³, берется из техдокументации на котел или по данным [1].

D и D_H – фактическая и номинальная паропроизводительность котла соответственно, т/ч.

q_3 - потери теплоты вследствие химической неполноты сгорания топлива, %.

При отсутствии эксплуатационных данных значения q_3 , q_4 принимают по данным [2] (см. таблицу 1)

Таблица 1

Характеристика топок котлов малой мощности.

Вид топок и котлов	Топливо	$q_3, \%$	$q_4, \%$	Примечание
С неподвижной решеткой и ручным забросом топлива	Бурые угли	2,0	8,0	Большие значения q_4 - при отсутствии средств уменьшения уноса; меньшие значения q_4 - при остром дутье и наличии возврата уноса, а также для котлов производительностью 25 - 35 т/ч
	Каменные угли	2,0	7,0	
	Антрациты АМ и АС	1,0	10,0	
Топки с цепной решеткой	Донецкий антрацит	0,5	13,5/10	
Шахтно-цепные топки	Торф кусковой	1,0	2,0	
Топки с пневмомеханическим забрасывателем и цепной решеткой прямого хода	Угли типа кузнецких	0,5-1,0	5,5/3	
	Угли типа донецкого	0,5-1,0	6/3,5	
	Бурые угли	0,5-1,0	5,5/4	
Топки с пневмомеханическими забрасывателями и ценной решеткой обратного хода	Каменные угли	0,5-1,0	5,5/3	
	Бурые угли	0,5-1,0	6,5/4,5	
Топки с пневмомеханическими забрасывателями и неподвижной решеткой	Донецкий антрацит	0,5-1,0	13,5/10	
	Бурые угли типа:			
	Подмосковных,	0,5-1,0	9/7,5	
	Бородинских	0,5-1,0	6/3	
	Угли типа кузнецких	0,5-1,0	5,5/3	
Шахтные топки с наклонной решеткой	Дрова, дробленые отходы, опилки, торф кусковой	2	2	
Топки скоростного горения	Дрова, щепа, опилки	1	4/2	
Слоевые топки котлов паропроизводительностью более 2 т/ч	Эстонские сланцы	3	3	
Камерные топки с твердым шлакоудалением	Каменные угли	0,5	5/3	
	Бурые угли	0,5	3/1,5	
	Фрезерный торф	0,5	3/1,5	
Камерные топки	Мазут	0,2	0,1	
	Газ (природный, попутный)	0,2	0	
	Доменный газ	1,0	0	

1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫБРОСОВ ГАЗООБРАЗНЫХ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ.

1.1 Оксиды азота.

В связи с разными значениями ПДК для оксида и диоксида азота и с учетом трансформации оксида азота в атмосферном воздухе в диоксид суммарные выбросы оксидов азота разделяют на составляющие (с учетом различия в молекулярной массе этих веществ)

$$M_{NO_2} = 0,8 \cdot M_{NO_x}; \quad M_{NO} = (1 - 0,8) \cdot M_{NO_x} \cdot \frac{\mu_{NO}}{\mu_{NO_2}} = 0,13 \cdot M_{NO_x}$$

где μ_{NO} и μ_{NO_2} - молекулярные массы NO и NO_2 , равные 30 и 46 соответственно;

0,8 - коэффициент трансформации оксида азота в диоксид.

1.1.1 Расчет выбросов оксидов азота при сжигании природного газа.

Суммарное количество оксидов азота M_{NO_x} в пересчете на NO_2 в г/с, выбрасываемых в атмосферу с дымовыми газами котлоагрегата, определяют по формуле

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

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

Для паровых котлов

$$K_{NO_2}^r = 0,01\sqrt{D} + 0,03 \quad (2)$$

Для водогрейных котлов

$$K_{NO_2}^r = 0,0113\sqrt{\frac{Q}{T}} + 0,03 \quad (3)$$

β_k – безразмерный коэффициент, учитывающий принципиальную конструкцию горелки. Для всех дутьевых горелок (т. е. при наличии дутьевого вентилятора на котле) принимают $\beta_k = 1,0$, для горелок инжекционного типа $\beta_k = 1,6$, для горелок двухступенчатого сжигания (ГДС) $\beta_k = 0,7$.

$\beta_t = 1 + 0,002 \cdot (t_{\text{воз}} - 30)$ – безразмерный коэффициент, учитывающий температуру $t_{\text{воз}}$, °С воздуха, подаваемого для горения.

β_a – безразмерный коэффициент, учитывающий влияние избытка воздуха. В общем случае $\beta_a = 1,225$, а при работе котла в соответствии с режимной картой $\beta_a = 1$. Для котлов с инжекционными горелками

$$\beta_a = 0,577\sqrt{S_m''}$$

где S_m'' – разрежение в топке, кгс/м², (мм в.ст.)

$\beta_r = 0,16 \cdot \sqrt{r}$ – безразмерный коэффициент, учитывающий влияние рециркуляции дымовых газов при подаче их в смеси с воздухом через горелки (r – степень рециркуляции дымовых газов, %).

$\beta_\delta = 0,022 \cdot \delta$ – безразмерный коэффициент, учитывающий влияние ступенчатого ввода воздуха в топочную камеру. Здесь δ – до-

ля воздуха (в % от общего количества), подаваемого в промежуточную зону факела.

1.1.2 Расчет выбросов оксидов азота при сжигании мазута.

Суммарное количество оксидов азота M_{NO_x} в пересчете на NO_2 в г/с выбрасываемых в атмосферу с дымовыми газами котлоагрегата, определяют по формуле

$$M_{NO_x} = B_p \cdot Q_i^r \cdot K_{NO_2}^M \cdot \beta_t \cdot \beta_\alpha \cdot (1 - \beta_r) \cdot (1 - \beta_s), \quad (4)$$

где $K_{NO_2}^M$ - удельный выброс оксидов азота при сжигании мазута,

г/МДж.

Для паровых котлов

$$K_{NO_2}^M = 0,01 \sqrt{D} + 0,1 \quad (5)$$

Для водогрейных котлов

$$K_{NO_2}^M = 0,0113 \sqrt{Q_T} + 0,1 \quad (6)$$

$\beta_t = 1 + 0,002 \cdot (t_{зв} - 30)$ - безразмерный коэффициент, учитывающий температуру $t_{зв}$, °С воздуха, подаваемого для горения.

β_α - безразмерный коэффициент, учитывающий влияние избытка воздуха.

В общем случае $\beta_\alpha = 1,113$, а при работе котла в соответствии с режимной картой $\beta_\alpha = 1$.

$\beta_r = 0,17 \cdot \sqrt{r}$ - безразмерный коэффициент, учитывающий влияние рециркуляции дымовых газов при подаче их в смеси с воздухом (r - степень рециркуляции дымовых газов, %).

$\beta_\delta = 0,018 \cdot \delta$ - безразмерный коэффициент, учитывающий влияние ступенчатого ввода воздуха в топочную камеру. Здесь δ - доля воздуха (в % от общего количества), подаваемого в промежуточную зону факела.

1.1.3 Расчет выбросов оксидов азота при слоевом сжигании твердого топлива.

Для котлов, оборудованных топками с неподвижной, цепной решеткой, с пневмомеханическим забрасывателем и для шахтных топок с наклонной решеткой суммарное количество оксидов азота M_{NO_x} в пересчете на NO_2 в г/с, выбрасываемых в атмосферу с дымовыми газами, определяют по формуле

$$M_{NO_x} = B_p \cdot Q_i^r \cdot K_{NO_2}^T \cdot (1 - \beta_r), \quad (7)$$

где $K_{NO_2}^T$ - удельный выброс оксидов азота, г/МДж.

При слоевом сжигании твердого топлива:

$$K_{NO_2}^T = 0,35 \cdot 10^{-3} \cdot \alpha_T \cdot \left(1 + 5,46 \frac{100 - R_6}{100} \right) \cdot \sqrt[4]{Q_i^r \cdot q_R}, \quad (8)$$

где α_T - коэффициент избытка воздуха в топке (только при отсутствии информации можно принимать $\alpha_T = 2,5$);

R_6 - остаток на сите с размером ячеек 6 мм, % (характеристика granulometric composition of coal) принимаются по сертификату на топливо. При проектировании можно использовать данные табл. 2.4 в [1].

$\beta_r = 0,075 \cdot \sqrt{r}$ - безразмерный коэффициент, учитывающий влияние рециркуляции дымовых газов, подаваемых в смеси с дутьевым воздухом под колосниковую решетку, на образование оксидов азота (r - степень рециркуляции дымовых газов, %).

1.2 Оксиды серы.

Суммарное количество оксидов серы M_{SO_2} в г/с, выбрасываемых в атмосферу с дымовыми газами котлоагрегата, вычисляют по формуле

$$M_{SO_2} = 20 \cdot B \cdot S^r \cdot (1 - \eta'_{SO_2}) \cdot (1 - \eta''_{SO_2}), \quad (9)$$

S^r - содержание серы в топливе на рабочую массу, %;

η'_{SO_2} - доля оксидов серы, связываемых летучей золой в котле;

η''_{SO_2} - доля оксидов серы, улавливаемых в мокром золоуловителе попутно с улавливанием твердых частиц.

Ориентировочные значения η'_{SO_2} при сжигании различных видов топлива представлены в таблице 2.

Доля оксидов серы (η''_{SO_2}), улавливаемых в сухих золоуловителях, принимается равной нулю. В мокрых золоуловителях эта доля зависит

от общей щелочности орошающей воды и от приведенной сернистости топлива S^{np} , кг-% / МДж

$$S^{np} = \frac{S^r}{Q_i^r}, \quad (10)$$

Таблица 2

Топливо	η_{SO_2}
торф	0,15
сланцы эстонские и ленинградские	0,8
сланцы других месторождений	0,5
экибастузский уголь	0,02
березовские угли Канско-Ачинского бассейна	
для топок с твердым шлакоудалением	0,5
для топок с жидким шлакоудалением	0,2
другие угли Канско-Ачинского бассейна	
для топок с твердым шлакоудалением	0,2
для топок с жидким шлакоудалением	0,05
угли других месторождений	0,1
мазут	0,02
газ	0

При характерных для эксплуатации удельных расходах воды на орошение золоуловителей $0,1-0,15 \text{ дм}^3/\text{нм}^3$ $\eta_{SO_2}^*$ определяют по рис. 1.

1.3 Оксид углерода.

Количества выбросов оксида углерода в г/с определяют по соотношению

$$M_{CO} = B_p \cdot K_{CO}, \quad (11)$$

где $K_{CO} = q_3 \cdot R \cdot Q_i^r$ – выход оксида углерода на единицу топлива, г/кг (г/нм³).

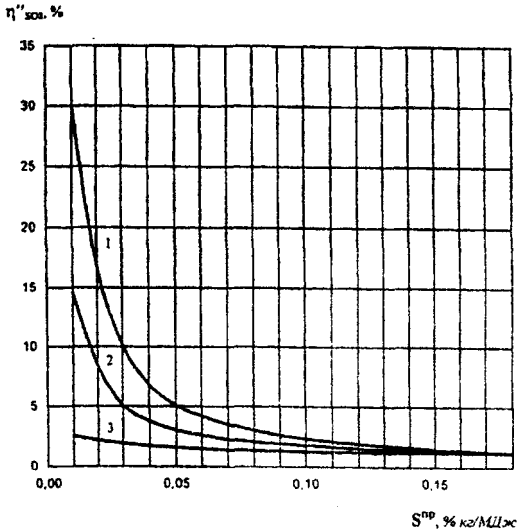


Рис. 1 Степень улавливания оксидов серы в мокрых золоуловителях. Щелочность орошающей воды, мг-экв./дм³: 1 – 10; 2 – 5; 3 – 0.

Здесь q_3 - потери теплоты вследствие химической неполноты сгорания топлива, %.

R - доля потери теплоты q_3 , обусловленная наличием в продуктах неполного сгорания оксида углерода; принимают для

твердого топлива.....	1,0
мазута.....	0,65
газа	0,5

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫБРОСОВ ТВЕРДЫХ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ.

2.1 Расчет выбросов твердых продуктов сгорания.

Суммарное количество твердых продуктов сгорания (летучей золы и несгоревшего топлива) $M_{ГЗ}$, поступающих в атмосферу с дымовыми газами котлов в г/с, вычисляют по формуле

$$M_{TB} = 10 \cdot B \cdot \left(a_{ун} \cdot A^r + q_4 \cdot \frac{Q_i^r}{32,68} \right) \cdot (1 - \eta_3), \quad (12)$$

где A^r - зольность топлива на рабочую массу, %; $a_{ун}$ - доля золы, уносимой газами из котла (доля золы топлива в уносе); при отсутствии данных замеров можно использовать ориентировочные значения, приведенные в [2]; η_3 - доля твердых частиц, улавливаемых в золоуловителях; 32,68 - теплота сгорания углерода, МДж/кг.

Количество летучей золы M_3 в г/с, уносимой в атмосферу в составе твердых продуктов сгорания, вычисляют по формуле

$$M_3 = 10 \cdot B \cdot a_{ун} \cdot A^r \cdot (1 - \eta_3), \quad (13)$$

Количество коксовых остатков при сжигании твердого топлива и сажи при сжигании мазута M_k в г/с, образующихся в топке в результате механического недожога топлива и выбрасываемых в атмосферу, определяют по формуле

$$M_k = M_{тв} - M_3, \quad (14)$$

2.2 Расчет выбросов мазутной золы в пересчете на ванадий.

Мазутная зола представляет собой сложную смесь, состоящую в основном из оксидов металлов. В качестве контролируемого показателя принят ванадий, по содержанию которого в атмосфере установлен санитарно-гигиенический норматив (ПДК).

Количество мазутной золы ($M_{мз}$) в пересчете на ванадий в г/с, поступающей в атмосферу с дымовыми газами котла при сжигании мазута, вычисляют по формуле

$$M_{мз} = G_v \cdot B \cdot (1 - \eta_{ос}) \cdot \left(1 - \frac{\eta_{зв}^v}{100} \right), \quad (15)$$

где G_v - количество ванадия в г/кг мазута, может быть определено по приближенной эмпирической формуле (при отсутствии данных химического анализа):

$$G_v = 2,222 \cdot A^r, \quad (16)$$

A^r - содержание золы в мазуте на рабочую массу, %.

При проектировании A^r принимают по данным справочника [3], при эксплуатации – по результатам анализа.

$\eta_{ос}$ - доля ванадия, оседающего с твердыми частицами на поверхностях нагрева мазутных котлов принимают равной:

0,07 - для котлов с промпароперегревателями, очистка поверхностей которых производится в остановленном состоянии;

0,05 - для котлов без промпароперегревателей при тех же условиях очистки.

$\eta_{зв}^v$ - степень очистки дымовых газов от мазутной золы в пересчете на ванадий в золоуловителе, %.

При очистке газов от мазутной золы в специально применяемых для этого батарейных циклонах $\eta_{зв}^v$ определяют по формуле

$$\eta_{3y}^v = 0,076 \cdot \eta_3^{1,85} - 2,32 \cdot \eta_3 \quad \text{при } 65\% < \eta_3 < 85\%, \quad (17)$$

где η_3 - общая степень улавливания твердых продуктов сгорания мазута в котлах, % (степень очистки золоуловителя).

При совместном сжигании мазута и твердого топлива в пылеугольных котлах:

$$\eta_{3y}^v = \eta_3 \cdot C, \quad (18)$$

где η_3 - общая степень улавливания твердых продуктов сгорания угля, %; C - коэффициент, равный 0,6 - для электрофильтров; 0,5 - для мокрых аппаратов; 0,3 - для батарейных циклонов.

2.3 Расчет выбросов бенз(а)пирена паровыми и водогрейными котлами.

Выброс бенз(а)пирена M_{bn} , поступающего в атмосферу с дымовыми газами в г/с рассчитывают по уравнению

$$M_{bn} = c_{bn,o} \cdot V_{cc} \cdot B_p \cdot 10^{-3} \quad (19)$$

где $c_{bn,o}$ - массовая концентрация бенз(а)пирена в сухих дымовых газах при стандартном коэффициенте избытка воздуха $\alpha_o = 1,4$ мг/нм³; V_{cc} - объем сухих дымовых газов, образующихся при полном сгорании 1 кг (1 нм³) топлива при $\alpha_o = 1,4$ нм³/кг (нм³/нм³).

2.3.1 Расчет концентрации бенз(а)пирена в сухих дымовых газах при сжигании мазута.

Концентрацию бенз(а)пирена в мг/нм^3 в сухих дымовых газах при сгорании мазута на выходе из топочной камеры котлов определяют по формуле:

$$c_{\text{бпн}} = 10^{-3} \cdot \frac{R \cdot (a_1 \cdot q_v + a_2)}{a_4 \cdot e^{a_3 \cdot (\alpha''_m - 1)}} \cdot K_\delta \cdot K_p \cdot K_{\text{см}} \cdot K_o \quad (21)$$

Концентрация, приведенная к $\alpha_v = 1,4$

$$c_{\text{бпн},0} = c_{\text{бпн}} \cdot \alpha''_m / 1,4$$

Значения констант $a_1 - a_4$

константы	паровые котлы		водогрейные котлы при $q_v=0,25 \div 0,5 \text{ МВт/м}^3$	
	$\alpha''_m = 1,08 - 1,25$	$\alpha''_m > 1,25$	$\alpha''_m = 1,05 \div 1,25$	$\alpha''_m > 1,25$
a_1	0,42	0,23	0,445	0,52
a_2	0,34	0,172	-0,028	-0,0325
a_3	3,8	1,14	3,5	3,5
a_4	1	1	1	1,16

В формуле (21):

R - коэффициент, учитывающий способ распыливания мазута (для паромеханических форсунок $R = 0,75$; для прочих - $R = 1$);

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

K_δ - коэффициент, учитывающий влияние нагрузки котла на концентрацию бенз(а)пирена, (определяется по графику рис. 2);

K_p - коэффициент, учитывающий влияние рециркуляции дымовых газов на концентрацию бенз(а)пирена, (определяется по графику рис. 3);

K_{cm} - коэффициент, учитывающий влияние ступенчатого сжигания на концентрацию бенз(а)пирена, (определяется по графику рис. 4).

K_{ov} - коэффициент, учитывающий влияние дробеочистки конвективных поверхностей нагрева на работающем котле, принимается:

при периоде между очистками 12 ч	1,5
при периоде между очистками 24 ч	2,0
при периоде между очистками 48 ч	2,5



Рис. 2. Зависимость K_d от относительной нагрузки котла.

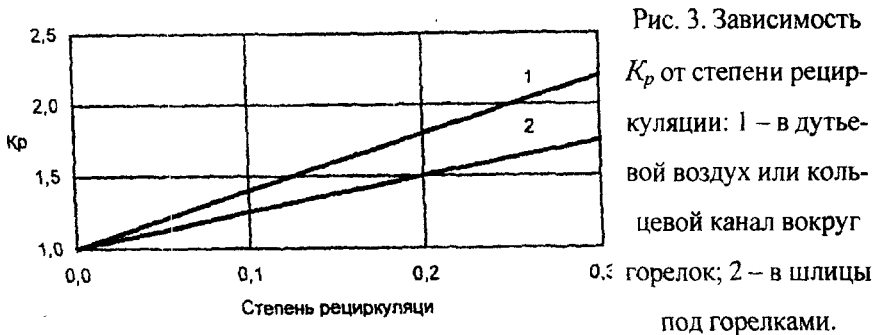


Рис. 3. Зависимость K_p от степени рециркуляции: 1 – в дутьевой воздух или кольцевой канал вокруг горелок; 2 – в шлицы под горелками.



Рис. 4. Зависимость K_{ctm} от доли воздуха, подаваемого помимо горелок.

2.3.2 Расчет концентрации бенз(а)пирена в сухих дымовых газах при сжигании природного газа.

Концентрацию бенз(а)пирена в мг/нм^3 в сухих продуктах сгорания природного газа на выходе из топочной зоны котлов определяют по формуле:

$$c_{bn} = 10^{-3} \cdot \frac{a_1 \cdot q_v + a_2}{a_4 \cdot e^{a_3 \cdot (\alpha''_m - 1)}} \cdot K_d \cdot K_p \cdot K_{ctm}, \quad (22)$$

Концентрация, приведенная к $\alpha_o = 1,4$

$$c_{bn,o} = c_{bn} \cdot \alpha''_m / 1,4$$

Значения констант $a_1 - a_4$

кон-стан-ты	паровые котлы		водогрейные котлы при $q_v = 0,25 - 0,5 \text{ МВт/м}^3$	
	$\alpha''_m = 1,08 - 1,25$	$\alpha''_m > 1,25$	$\alpha''_m = 1,05 - 1,25$	$\alpha''_m > 1,25$
a_1	0,032	0,043	0,11	0,13
a_2	0,059	0,79	-0,007	-0,005
a_3	3,8	1,14	3,5	3,5
a_4	1	1	1	1,3

В формуле (22) обозначения те же, что и в формуле (21); коэффициенты K_{∂} , K_p , K_{cm} принимаются по графикам рис. 2 - 4.

2.3.3 Расчет концентрации бенз(а)пирена в сухих дымовых газах при сжигании твердого топлива.

Концентрацию бенз(а)пирена в сухих дымовых газах котлов малой мощности при слоевом сжигании твердого топлива $c_{бп,о}$ (мг/нм³), приведенную к избытку воздуха в газах $\alpha_v = 1,4$, рассчитывают по формуле:

$$c_{бп,о} = 10^{-3} \cdot \left(\frac{A \cdot Q_{н}^r}{2,5 \cdot \alpha_v^m} + \frac{R}{t_H} \right) \cdot K_{\partial} \cdot K_{зв}, \quad (23)$$

где A - коэффициент, характеризующий тип колосниковой решетки и вид топлива (для углей и сланцев - 2,5, для древесины и торфа - 1,5);

R - коэффициент, характеризующий температурный уровень экранов;

для $t_H > 150$ °C $R = 350$

для $t_H < 150$ °C $R = 290$

t_H - температура насыщения при давлении в барабане паровых котлов или температура воды на выходе из водогрейных котлов;

$$K_{\partial} = \left(\frac{D_H}{D} \right)^{1,2} - \text{коэффициент, учитывающий нагрузку котла};$$

$K_{зв}$ - коэффициент, учитывающий степень улавливания бенз(а)пирена золоуловителем:

$$K_{зв} = 1 - \eta_3 \cdot Z_{0,4} \quad (24)$$

где η_z - степень очистки газов в золоуловителе по золе, %; z - понижающий коэффициент (бенз(а)пирен улавливается в меньшей степени, чем зола):

при температуре газов перед золоуловителем $t'_{zy} \approx t_{yx} \geq 185$ °С

$z = 0,8$ - для сухих золоуловителей и $z = 0,9$ - для мокрых;

при температуре газов перед золоуловителем $t'_{zy} \approx t_{yx} < 185$ °С

$z = 0,7$ - для сухих золоуловителей и $z = 0,8$ - для мокрых.

Литература

1. Справочник по котельным установкам малой производительности / Под ред. К.Ф. Роддатиса.- М.: Энергоатомиздат, 1989. - 488 с.
2. Тепловой расчет котлов (нормативный метод). Издательство НПО ЦКТИ, СПб, 1998 г.
3. "Энергетическое топливо СССР", М.: Энергоатомиздат, 1991.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
Общие положения	7
1. Определение выбросов газообразных загрязняющих веществ.	10
1.1 Оксиды азота.	10
1.1.1 Расчет выбросов оксидов азота при сжигании природного газа.	10
1.1.2 Расчет выбросов оксидов азота при сжигании мазута.	12
1.1.3 Расчет выбросов оксидов азота при слоевом сжигании твердого топлива.	13
1.2 Оксиды серы.	14
1.3 Оксид углерода.	15
2. Определение выбросов твердых загрязняющих веществ.	16
2.1 Расчет выбросов твердых продуктов сгорания.	16
2.2 Расчет выбросов мазутной золы в пересчете на ванадий.	17
2.3 Расчет выбросов бенз(а)пирена паровыми и водогрейными котлами.	19
2.3.1 Расчет концентрации бенз(а)пирена в сухих дымовых газах при сгорании мазута.	20
2.3.2 Расчет концентрации бенз(а)пирена в сухих дымовых газах при сгорании природного газа.	22
2.3.3 Расчет концентрации бенз(а)пирена в сухих дымовых газах при сжигании твердого топлива.	23
Литература	24

Учебно-методическое издание

Горячкин Николай Борисович
Селиванов Александр Сергеевич

Определение выбросов загрязняющих веществ котельной с котлами малой мощности: Методические указания к курсовому и дипломному проектированию

Подписано к печати - 13.01.2005 Формат 60x84¹/₁₆ Тираж 100 экз.

Усл. печ. л. 1,75 Заказ - 10. Изд. № 202 – 05 Цена – 12 руб. 00 коп.

127994, Москва, ул. Образцова, 15.

Типография МИИТа