РУКОВОДЯЩИЙ ДОКУМЕНТ

Министерство тяжелого энергетического
и транспортного машиностроения СССР

Техуправление

Министерство газовой промышленности СССР

Техуправление

Министерство энергетики
и электрификации СССР

Главтехуправление

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО РАСЧЕТУ ВЫБРОСОВ ОКИСЛОВ АЗОТА С ДЫМОВЫМИ ГАЗАМИ КОТЛОВ

РД 34.02.304-88

Москва 1989

gost.e-ecolog.ru

РАЗРАБОТАНЫ Всесоюзным дважды ордена Трудового Красного Знамени теплотехническим научно-исследовательским институтом им. Ф.Э.Дзержинского (ВТИ им. Ф.Э.Дзержинского), Научно-производственным объединением Центральный котло-турбинный институт им. И.И.Ползунова (НПО ЦКТИ), Среднеазиатским филиалом Всесоюзного научно-исследовательского института газовой промышленности (САФ ВНИИПромгаз), Харьковским филиалом ЦКБ ВО «Союзэнергоремонт»

ИСПОЛНИТЕЛИ В.И.Бабий, А.Д.Горбаненко, Ю.П.Енякин, В.Р.Котлер, Т.Б.Эфендиев (ВТИ им. Ф.Э.Дзержинского); Л.Н.Гусев, Н.Г.Жмерик, Н.С.Шестаков (НПО ЦКТИ); В.П.Васильев, П.А.Кадыров, Н.В.Тимошин, Л.М.Цирульников (САФ ВНИИПромгаз); М.М.Левин (ХФ ЦКБ СЭР)

УТВЕРЖДЕНЫ Главным научно-техническим управлением энергетики и электрификации Минэнерго СССР
«20» июля 1988 г.

Заместитель начальника *А.П.Берсенев*

Техническим управлением Министерства тяжелого, энергетического и транспортно-

УДК 621.2 (083.96)

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО РАСЧЕТУ ВЫБРОСОВ ОКИСЛОВ АЗОТА С ДЫМОВЫМИ ГАЗАМИ КОТЛОВ

РД 34.02.304-88
Взамен:
МУ 34-70-051-83

Срок действия установлен
с 01.12.88 до 01.12.98

Настоящие Методические указания распространяются на паровые котлы паропроизводительностью 75 т/ч и выше и водогрейные котлы мощностью 50 Гкал/ч и больше, сжигающие твердое, жидкое и газообразное топливо в факельных топочных устройствах, и устанавливают порядок и методы расчета выбросов окислов азота при проектировании новых и реконструкции действующих котлов.

Издание официальное Перепечатка воспрещена

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Сжигание топлива на тепловых электростанциях и в котельных приводит к выбросу в атмосферу продуктов сгорания органического топлива, содержащих токсичные окислы азота (главным образом окись азота и в меньшей степени — двуокись).

Количество образующихся окислов азота зависит от характеристики топлива и от конструктивного исполнения топочной камеры, поэтому на стадии проектирования котлов необходимо провести расчет ожидаемых выбросов окислов азота и предусмотреть меры по снижению их до величин, максимально приближающихся к санитарным нормам допустимой загазованности атмосферного воздуха.

В топках при горении топлива образуется 95-99% окиси азота NO и 1-5% более токсичной двуокиси азота NO_2. В атмосфере происходит неконтролируемое превращение NO в NO_2, в связи с чем расчет ведется условно на NO_2. Для расчета доли двуокиси азота в суммарном содержании NO_x в атмосферном воздухе при нормировании выбросов ТЭС применяется коэффициент 0,8.

Источниками окислов азота являются молекулярный азот воздуха, используемого в качестве окислителя при горении, и азотсодержащие компоненты топлива. В связи с этим принято делить окислы азота на воздушные и топливные. Воздушные, в свою очередь, можно разделить на термические, образующиеся при высоких температурах за счет окисления молекулярного азота атомарным кислородом (механизм Зельдовича) и так называемые «быстрые» окислы азота, образующиеся в зоне сравнительно низких температур в результате реакции углеводородных радикалов с молекулой азота и последующего взаимодействия атомарного азота с гидроксилом OH.

2. РАСЧЕТ ВЫБРОСОВ ОКИСЛОВ АЗОТА

2.1. Количественные значения выбросов окислов азота M_{NO_2} (г/с) рассчитывают по удельным выбросам или по концентрации окислов азота:

$$M_{NO_2} = B_p \cdot Q_н^р \cdot K_{NO_2}; \qquad (1)$$

$$M_{NO_2} = B_p \cdot V_{с.г} \cdot C_{NO_2}. \qquad (2)$$

где B_p — расчетный расход топлива, кг/с (м³/с);

$Q_н^р$ — теплота сгорания топлива, МДж/кг (МДж/м³);

K_{NO_2} — удельный выброс окислов азота в пересчете на двуокись, кг/ГДж;

C_{NO_2} — концентрация окислов азота, г/м³, в сухой пробе газа при стандартных условиях и при определенном коэффициенте избытка воздуха α (рекомендуется все расчеты концентрации NO_2 при сжигании твердого топлива пересчитывать на $\alpha = 1{,}4$, а при сжигании газа и мазута — на $\alpha = 1{,}167$);

$V_{с.г}$ — объем сухих дымовых газов, м^3/кг (м^3/м^3), при том же коэффициенте избытка воздуха α, что и C_{NO},

$$V_{с.г}=V_г^0+0{,}984(\alpha-1)V^0-V_{H_2O}^0, \qquad (3)$$

где V^0, $V_г^0$ и $V_{H_2O}^0$ — сответственно, объем воздуха, дымовых газов и водяных паров при стехиометрическом сжигании 1 кг (или 1 м^3) топлива, м^3/кг (м^3/м^3).

Соотношение между удельными выбросами и концентрацией окислов азота определяют по формуле:

$$K_{NO_2}=C_{NO_2}\,V_{с.г}/Q_н^р \qquad (4)$$

3. РАСЧЕТ УДЕЛЬНЫХ ВЫБРОСОВ ОКИСЛОВ АЗОТА ДЛЯ ПЫЛЕУГОЛЬНЫХ КОТЛОВ

3.1. Исходные данные, необходимые для расчета удельных выбросов:

$N^р$ — содержание азота в топливе в % на рабочую массу;

$Q_н^р$ — теплота сгорания топлива, МДж/кг;

тип горелок (вихревые, прямоточные, с подачей пыли высокой концентрации);

$\alpha_г$ — коэффициент избытка воздуха в горелках;

α_1 — доля первичного воздуха по отношению к теоретически необходимому;

$r_г$ — степень рециркуляции дымовых газов через горелки, %;

w_2/w_1 — отношение скоростей в выходном сечении горелок;

$\Delta\alpha_т$ — рисосы в топке;

$\Delta\alpha_3$ — третичный воздух, подаваемый в топку помимо горелок;

$\Delta\alpha_{сбр}$ — сбросной воздух при транспорте пыли к горелкам горячими воздухом;

$T''_{аг}$ — температура за зоной активного горения, К.

3.2. Удельные выбросы окислов азота K_{NO_2} (кг/ГДж) складываются из топливных $K_{NO_2}^{тпл}$ и воздушных $K_{NO_2}^{взд}$ окислов азота:

$$K_{NO_2}=K_{NO_2}^{тпл}+K_{NO_2}^{взд} \qquad (5)$$

3.3. Топливные окислы азота подсчитывают по формуле:

$$K_{NO_2}^{тпл}=0{,}7\cdot N_т\cdot\beta_{\alpha_г}\cdot\beta_{\alpha_1}\cdot\beta_{w_2}\cdot\beta_{r}\cdot\beta_{см} \qquad (6)$$

где $N_т$ — содержание азота в топливе, кг/ГДж:

$$N_т=10N^р/Q_н^р. \qquad (7)$$

Значения коэффициентов формулы (6) приведены в табл.1:

Таблица 1

Фактор, который учитывается коэффициентом	Зависимость	Диапазон пригодности зависимости
Влияние коэф.избытка воздуха в вихревой горелке $\beta^{вих}_{\alpha_г}$	$(0{,}35\alpha_г+0{,}4)^2$	$0{,}9\leqslant\alpha_г\leqslant 1{,}3$
Влияние коэф.избытка воздуха в прямоточной горелке $\beta^{прм}_{\alpha_г}$	$(0{,}53\alpha_г+0{,}12)^2$	$0{,}9\leqslant\alpha_г\leqslant 1{,}3$
Влияние доли первичного воздуха в горелке β_{α_1}	$1{,}73\alpha_г+0{,}48$	$0{,}15\leqslant\alpha_1\leqslant 0{,}55$
Влияние рециркуляции дымовых газов в первичный воздух (без учета снижения температуры в зоне активного горения) $\beta_{r_г}$	$1-0{,}016\sqrt{r_г}$	$0\leqslant r\leqslant 30\%$
Влияние максимальной температуры на участке образования топливных окислов азота β_v	$0{,}11\sqrt[3]{T''_{аг}}-1100$	$1250\leqslant T''_{аг}\leqslant 2050$ К
Влияние смесеобразования в корне факела вихревых горелок $\beta^{вих}_{см}$	$0{,}4(w_2/w_1)^2+0{,}32$	$1{,}0\leqslant w_2/w_1\leqslant 1{,}6$
Влияние смесеобразования в корне факела прямоточных горелок $\beta^{прм}_{см}$	$0{,}98w_2/w_1-0{,}47$	$1{,}4\leqslant w_2/w_1\leqslant 4.0$

3.4. При транспорте пыли к горелкам высокой концентрации значение $K^{пл}_{NO_2}$, подсчитанное по формуле (6), умножают на коэффициент 0,8. При этом долю первичного воздуха α_1 и отношение w_2/w_1 принимают равными тем значениям, которые были бы выбраны при обычной подаче пыли к горелкам первичным воздухом.

3.5. Воздушные окислы азота образуются в зоне максимальных температур, то есть там, где поля концентраций, скоростей и температур отдельных горелок уже выровнялись. Следовательно, $K^{взд}_{NO_2}$ определяется в основном не особенностями горелок, а интегральными параметрами топочного процесса.

Для подсчета $K^{взд}_{NO_2}$ используют зависимость, учитывающую известное уравнение Зельдовича:

$$K^{взд}_{NO_2}=1{,}54\cdot 10^{16}\cdot\sqrt{\frac{\alpha''_{аг}-1}{\alpha''_{аг}}}\cdot e^{\frac{-6700}{T''_{аг}}}\Big/\sqrt{T''_{аг}}, \qquad (8)$$

где $\alpha''_{аг}$ — коэффициент избытка воздуха в зоне активного горения, условно принимаемый как сумма организованно подаваемого воздуха и присосов через нижнюю часть топочной камеры, т.е.

$$\alpha''_{аг}=\alpha_г+\frac{1}{2}\Delta\alpha_т+\Delta\alpha_{сбр}+\Delta\alpha_з\,, \qquad (9)$$

$T''_{аг}$ — температура на выходе из зоны активного горения, К.

Уравнение (8) справедливо в диапазоне коэффициентов избытка воздуха $1{,}05 \leqslant \alpha''_{ar} \leqslant 1{,}4$ и до температуры $T''_{ar} = 2050$ К. При $T''_{ar} < 1800$ К величиной $K^{взд}_{NO_2}$ можно пренебречь.

В табл.2 справочного приложения 1 приведены значения $K^{взд}_{NO_2}$ при различных значениях α''_{ar} и T''_{ar}, а на черт.1,2 и 3 — номограммы для приближенного расчета количества выбросов топливных и воздушных окислов азота $K^{тпл}_{NO_2}$ и $K^{взд}_{NO_2}$, а также их концентраций $C^{тпл}_{NO_2}$ и $C^{взд}_{NO_2}$ в пересчете на коэффициент избытка воздуха $\alpha = 1{,}4$ ($O_2 = 6\%$)

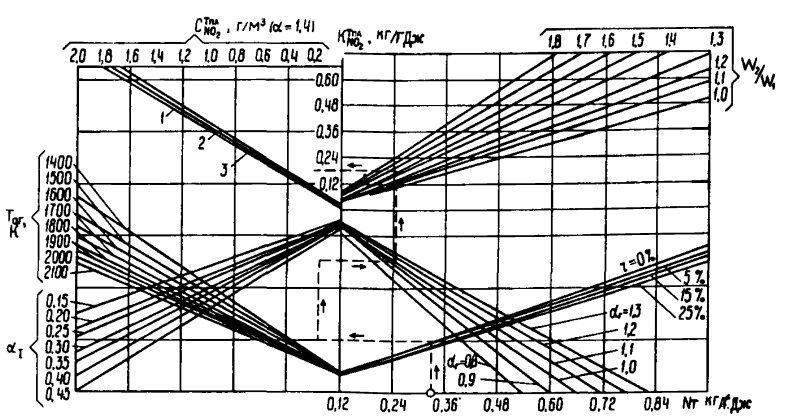
Температуру в конце зоны активного горения T''_{ar} рассчитывают по Руководящим указаниям «Проектирование топок с твердым шлакоудалением» (Ленинград, НПО ЦКТИ, вып.42, 1981).

3.6. Величина воздушных окислов азота $K^{взд}_{NO_2}$ может быть снижена за счет уменьшения T''_{ar}, причем эффективность любых мероприятий в этой области будет тем больше, чем выше исходное значение температуры.

Снижение величины топливных окислов азота $K^{тпл}_{NO_2}$ может быть осуществлено путем изменения нескольких параметров, влияние которых учитывают приведенными выше безразмерными коэффициентами.

В качестве примера в табл.3 справочного приложения 2 приведены расчеты для котлов с жидким и твердым шлакоудалением (БКЗ-210-140Ф на промпродукте кузнецких каменных углей, БКЗ-420-140-5 на экибастузском СС и ТПП-312 на донецком ГСШ). Программа расчета на ЭВМ удельных выбросов окислов азота для пылеугольных котлов приведена в рекомендуемом приложении 3.

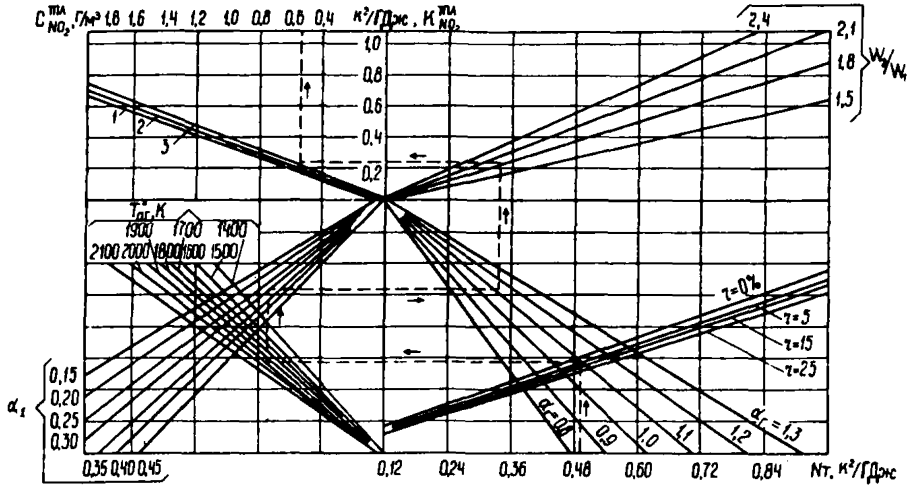
Номограмма для расчета выбросов и концентраций топливных окислов азота при установке вихревых горелок



1 — каменные угли; 2 — АШ и сланцы; 3 — бурые угли.

Черт. 1

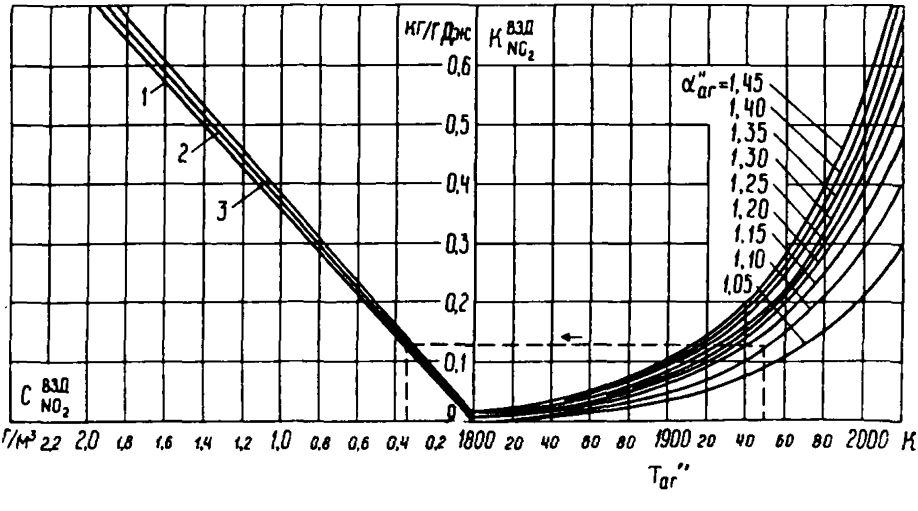
Номограмма для расчета выбросов и концентраций топливных окислов азота при установке прямоточных горелок



1 — каменные угли; 2 — АШ и сланцы; 3 — бурые угли.

Черт.2

Номограмма для расчета выбросов и концентраций воздушных окислов азота



1 — каменные угли; 2 — АШ и сланцы; 3 — бурые угли.

Черт.3

4. РАСЧЕТ КОНЦЕНТРАЦИИ ОКИСЛОВ АЗОТА ПРИ СЖИГАНИИ ГАЗА И МАЗУТА

4.1. Исходные данные, необходимые для расчета концентрации окислов азота в дымовых газах энергетических котлов:

$D_н$ — номинальная паропроизводительность котла, кг/с;

$D_р$ — фактическая паропроизводительность котла, кг/с;

$Q_н^р$ — низшая располагаемая теплота сгорания топлива, МДж/м³ (МДж (кг);

$B_р$ — располагаемый расход топлива, м³/с (кг/с

Геометрические размеры зоны активного горения:

$a_{тп}$ — ширина топки (в свету), м (при наличии двусветного экрана — ширина одной ячейки);

$в_{тп}$ — глубина топки (в свету), м;

$Z_{яр}$ — число ярусов горелок,

$h_{яр}$ — расстояние между осями соседних горелок (по высоте), м;

$T_в$ — температура воздуха перед горелками, К;

α — коэффициент избытка воздуха в конце топки;

r — степень (доля) рециркуляции дымовых газов, % (не более 20%),

$a_{рец}$ — коэффициент, зависящий от места ввода рециркулируемых газов: в под топки — 0,0025, в шлицы под горелки — 0,01, вокруг амбразуры горелки — 0,02, в дутьевой воздух и вокруг амбразуры горелки со скоростью, равной выходной скорости воздуха — 0,025;

δ — доля воздуха, подаваемого во вторую ступень горения (не более 30% от общего расхода воздуха);

$a_{ст}$ — коэффициент, учитывающий место подачи вторичного воздуха: навстречу факелу — 0,015, под горелками — 0,007, над горелками — 0,018;

g — водотопливное отношение при подаче влаги в зону горения (не более 10%);

$a_{вл}$ — коэффициент, учитывающий место ввода влаги: в корень факела через горелки — 0,025, в пристенную зону — 0,015;

$N^р$ — содержание азота, связанного в топливе (мазуте), %.

4.2. На основании геометрических размеров топки определяем тепловую нагрузку лучевоспринимающей поверхности зоны активного горения

$$q_{лг} = \frac{Q_н^р \cdot B_р}{2(a_{тп} + в_{тп}) Z_{яр} h_{яр} - 1{,}5 a_{тп} \cdot в_{тп}}, \text{ МВт/м}^2. \qquad (10)$$

Примечание: при наличии в топке двусветного экрана $B_р$ принимается на одну ячейку.

Для топок с однорядным расположением горелок (единичной мощностью от 30 до 60 МВт) $Z_{яр} h_{яр} = 3$ м. При подовой компоновке горелок — единичной мощностью от 50 до 100 МВт $Z_{яр} h_{яр} = 7{,}5$ м, для горелок 101-160 МВт — $Z_{яр} h_{яр} = 10$ м.

4.3. Рассчитываем концентрацию окислов азота (мг/м^3) при коэффициентах избытка воздуха 1,02 — при номинальной нагрузке — без применения каких-либо мероприятий по снижению вредных выбросов по формулам (при $q_{лг}$ в пределах $0{,}5 < q_{лг} < 3{,}0$ МВт/м^2). При сжигании газа

$$C'_{NO_x} = \frac{C_{NO_x}}{K_м} = 613 \cdot q_{лг}^{0,88}; \qquad (11)$$

При сжигании мазута

$$C'_{NO_x} = \frac{C_{NO_x}}{K_м} = 632 g_{лг}^{0,62} + 1000 (N^p - 0{,}25)(\alpha - 0{,}8). \qquad (12)$$

Примечание: второй член учитывает «топливные» окислы азота.

4.4. Полученные результаты дополняем коэффициентами, учитывающими:

тепловую производительность топки, $K_м$;

температуру воздуха, поступающего в горелки, $K_{гв}$ (при $T_в < 620$ К);

коэффициент избытка воздуха, $K_α$;

рециркуляцию, K_r;

ступенчатое сжигание, $K_{ст}$;

подачу влаги, $K_{вл}$;

действительную нагрузку котла, K_N.

$$C_{NO_x} = C'_{NO_x} K_м K_{гв} K_α K_r K_{ст} K_{вл} \cdot K_N, \qquad (13)$$

4.5. Коэффициенты вычисляются по формулам:

$$K_м = 1 - \exp\left[-\frac{1{,}5 + Q^{0,41}}{7{,}1}\right], \quad Q = B_p \cdot Q_н^p; \qquad (14)$$

$$K_{гв} = 1 - 0{,}001 (620 - T_в); \qquad (15)$$

$$K_α = 1{,}35 - 43[\alpha - 1{,}09)^2 + 2(\alpha - 1{,}09); \qquad (16)$$

$$K_r = 1 - a_{рец} \cdot r; \qquad (17)$$

$$K_{ст} = 1 - a_{ст} \cdot \delta; \qquad (18)$$

$$K_{вл} = 1 - a_{вл} \cdot g; \qquad (19)$$

$$K_N = \left(D_p / D_н\right)^{1,25} \qquad (20)$$

Примеры расчета концентрации окислов азота при сжигании газа и мазута приведены в справочном приложении 4. Программа расчета

на ЭВМ содержания окислов азота для газомазутных котлов приведена в рекомендуемом приложении 5.

5. РАСЧЕТ УДЕЛЬНЫХ ВЫБРОСОВ ИЛИ КОНЦЕНТРАЦИЙ ПРИ СОВМЕСТНОМ СЖИГАНИИ УГЛЯ С МАЗУТОМ ИЛИ ГАЗОМ

5.1. При проектировании новых котлов, рассчитанных на сжигание угля и природного газа или угля и мазута, расчет выбросов окислов азота должен выполняться для случая работы котла с номинальной нагрузкой полностью на худшем в экологическом отношении топливе. Приведенное содержание азота на 1 ГДж у всех марок углей выше, чем у мазута, а у природного газа связанный азот вообще отсутствует. Следовательно, для котлов, которые проектируются на несколько видов топлива, включая уголь, расчет выбросов окислов азота следует выполнять по формулам раздела 3.

5.2. В действующих котлах часто сжигаются одновременно уголь и мазут или уголь и газ. В этом случае расчет удельных выбросов K_{NO_2} (кг/ГДж) или концентрации окислов азота C_{NO_2} (г/м^3) проводится по следующим формулам:

$$K^{см}_{NO_2} = q_1 (K_{NO_2})_1 + q_2 (K_{NO_2})_2 + \dots \; ; \qquad (20)$$

$$C^{см}_{NO_2} = q_1 (C_{NO_2})_1 + q_2 (C_{NO_2})_2 + \dots \; , \qquad (21)$$

где q_1, q_2,... — доля каждого из видов топлива по тепловыделению в топке, т.е.

$$q_1 = \frac{B_{p1} (Q^p_н)_1}{Q_т} \; , \qquad q_2 = \frac{B_{p2} (Q^p_н)_2}{Q_т}$$

т.д.,

где B_{p1}, B_{p2}, ... — расчетный расход каждого из видов топлива на котел, кг/с; $(Q^p_н)_1$, $(Q^p_н)_2$... — теплота сгорания каждого из видов топлива, МДж/кг; $Q_т$ — суммарное тепловыделение в топке, МВт; $(K_{NO_2})_1$, $(K_{NO_2})_2$ — удельные выбросы окислов азота в пересчете на NO_2 кг/1 Дж, рассчитанные исходя из предположения, что котел работает только на одном виде топлива. Соответственно, при сжигании угля величина K_{NO_2} определяется по формуле (5), а при сжигании газа или мазута — по формуле (13); $(C_{NO_2})_1$, $(C_{NO_2})_2$ — концентрации окислов азота в пересчете на NO_2 в г/м^3, рассчитанные исходя из предположения, что котел работает на одном виде топлива. Соответственно, при сжигании угля величина C_{NO_2} определяется по формулам р.3, а при сжигании газа или мазута — по формуле (13).

5.3. По усредненным таким образом удельным выбросам $K^{см}_{NO_2}$, или концентрации окислов азота $C^{см}_{NO_2}$, можно рассчитать секундный

выброс окислов азота M_{NO_2}, г/с. Для этого пользуются формулами (1) или (2), подставляя условно усредненные значения $Q_{н_1}^{р'}$ (МДж/кг), $v_г$ ($м^3$/кг) и суммарный расход топлива B (кг/с):

$$\overline{B} = (B_р)_1 + (B_р)_2 + \ldots; \tag{22}$$

$$\overline{Q_н^р} = \frac{(Q_н^р)_1 \cdot (B_р)_1 + (Q_н^р)_2 \cdot (B_р)_2 + \ldots}{(B_р)_1 + (B_р)_2 + \ldots}, \tag{23}$$

$$\overline{v}_г = \overline{v}_г^0 + (\alpha - 1)\overline{v}_в^0. \tag{24}$$

Для определения условно усредненного объема дымовых газов необходимо рассчитать условные расходы дымовых газов и воздуха при стехиометрическом сжигании каждого вида топлива

$$\overline{v}_г^0 = \frac{(v_г^0)_1 \cdot (B_р)_1 + (v_г^0)_2 \cdot (B_р)_2 + \ldots}{(B_р)_1 + (B_р)_2 + \ldots}; \tag{25}$$

$$\overline{v}^0 = \frac{(v^0)_1 (B_р)_1 + (v^0)_2 (B_р)_2 + \ldots}{(B_р)_1 + (B_р)_2 \ldots} \tag{26}$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 1
Справочное

Таблица 2

Величина воздушных окислов азота $K_{NO_2}^{возд}$, кг/ГДж

$T_{ar}^{ИГ}$, К	$\alpha_{ar}^{ИГ}$								
	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25	1,30	1,35	1,40	1,45
1800	0,005	0,007	0,009	0,010	0,011	0,012	0,013	0,014	0,014
1820	0,008	0,011	0,013	0,015	0,017	0,018	0,019	0,020	0,021
1840	0,012	0,017	0,020	0,023	0,025	0,026	0,028	0,029	0,031
1860	0,018	0,024	0,029	0,033	0,036	0,039	0,041	0,043	0,045
1880	0,026	0,036	0,043	0,048	0,053	0,057	0,060	0,063	0,066
1900	0,037	0,051	0,062	0,70	0,077	0,082	0,087	0,092	0,095
1920	0,054	0,074	0,089	0,100	0,110	0,118	0,125	0,131	0,137
1940	0,076	0,105	0,127	0,143	0,157	0,168	0,178	0,187	0,195
1960	0,108	0,149	0,179	0,203	0,222	0,238	0,252	0,265	0,276
1980	0,152	0,210	0,252	0,285	0,312	0,335	0,355	0,372	0,388
2000	0,212	0,292	0,351	0,417	0,435	0,467	0,495	0,520	0,542
2020	0,294	0,405	0,487	0,551	0,603	0,648	0,687	0,721	0,751

ПРИЛОЖЕНИЕ 2
Справочное

Таблица 3

Пример расчета удельных выбросов и концентрации окислов азота при сжигании твердого топлива

Рассчитываемая величина	Формула или обоснование	БКЗ-210-140Ф		БКЗ-420-140-5	ТПП-312
		до реконструкции	после реконструкции		
Марка угля	Тех. задание на котел или эксплуатационные данные	Промпродукт кузнецкого каменного угля		Экибастузский СС	Донецкий ГСШ
Содержание азота в топливе N^p, %	То же	1,6	1,6	0,8	1,0
Теплота сгорания топлива $Q^p_н$, МДж/кг	То же	20,95	20,95	15,87	20,94
Содержание азота в топливе $N_т$, кг/ГДж	$10N^p/Q^p_н$	0,76	0,76	0,504	0,48
Тип горелок	Описание котла	Прямоточные		Вихревые	
Коэффициент избытка воздуха в горелках $\alpha_т$	Тепловой расчет котла или эксплуатационные данные	1,12	0,95	1,20	1,15
Доля первичного воздуха α_1	То же	0,24	0,24	0,3	0,26
Степень рециркуляции дымовых газов через горелки $r_г$, %	Тепловой расчет котла или эксплуатационные данные	4	4	0	0

Продолжение табл. 3

Рассчитываемая величина	Формула или обоснование	БКЗ-210-140Ф		БКЗ-420-140-5	ТПП-312
		до реконструкции	после реконструкции		
Температура за зоной активного горения T^{w}_{ar}, К	По Руководящим указаниям «Проектирование топок с твердым шлакоудалением» (Л.: НПО ЦКТИ, вып.42, 1981)	1700	1700	1830	1930
Отношение скоростей в выходном сечении горелок w_2/w_1	Тепловой расчет котла или эксплуатационные данные	2,0	1,8	1,48	1,4
Присосы в топке $\Delta\alpha_т$ и третичное дутье $\Delta\alpha_3$	То же	0,10	0,10+0,17	0	0,05
Коэффициент избытка воздуха в зоне активного горения α_{ar}	$\alpha_т+\Delta\alpha_т/2+\Delta\alpha_{31}$	1,17	1,17	1,2	1,175
Влияние коэффициента избытка воздуха в горелке $\beta_{\alpha_т}$	$(0{,}53\alpha_т^{прм}+0{,}12)^2$ $(0{,}35\alpha_т^{вхр}+0{,}4)^2$	0,509	0,389	0,67	0,639
Влияние доли первичного воздуха β_{α_1}	$1{,}73\alpha_1+0{,}48$	0,895	0,895	1,0	0,930
Влияние рециркуляции газов через горелки $\beta_{T_г}$	$1-0{,}016\sqrt{r}$	0,968	0,968	1,0	0,955
Влияние температуры на образование топливных NO_x β_v	$0{,}11\sqrt[3]{T^{w}_{ar}-1100}$	0,929	0,929	0,99	1,033
Влияние смесеобразования в корне факела $\beta_{см}$	$(0{,}98w_2/w_1-0{,}47)$ — прм $0{,}4(w_2/w_1)^2+0{,}32$ — вхр	1,49	1,294	1,196	1,104
Топливные окислы азота $K^{тпл}_{NO_2}$, кг/ГДж	Формула (6)	0,325	0,215	0,28	0,22
Воздушные окислы азота $K^{взд}_{NO_2}$	Формула (8) или табл. 2 приложения 1	0,0	0,0	0,022	0,114
Суммарное значение окислов азота K_{NO_2}, кг/ГДж	$K^{тпл}_{NO_2}+K^{взд}_{NO_2}$	0,325	0,215	0,302	0,334
Концентрация окислов азота в дымовых газах C_{NO_2}, г/м^2, при нормальных условиях и $\alpha=1{,}4$	$K_{NO_2}\cdot Q^{р}_{н}/V_{с.г.}$	0,98	0,64	0,84	0,93

ПРИЛОЖЕНИЕ 3
Рекомендуемое

ПОДПРОГРАММА РАСЧЕТА НА ЭВМ УДЕЛЬНЫХ ВЫБРОСОВ ОКИСЛОВ АЗОТА ДЛЯ ПЫЛЕУГОЛЬНЫХ КОТЛОВ

Подпрограмма написана на языке Фортран применительно к машине БЭСМ-6 и является дополнением к Программе ТКЗ-ЦКТИ для позонного расчета горения и теплообмена в топочных камерах.

Кроме принятых в этой программе использованы следующие параметры:

Таблица 4

Наименование параметра	Обозначение в методике	Обозначение на печати	Размерность
Содержание азота в топливе	$N_т$	PNT	кг/ГДж
Коэффициент, учитывающий влияние доли первичного воздуха в горелке	β_{α_1}	PSIL1	—
Коэффициент, учитывающий влияние рециркуляции дымовых газов в первичный воздух	$\beta_{т_1}$	PSIRG	—
Коэффициент, учитывающий влияние коэффициента избытка воздуха в горелке	β_{α_1}	PSILG	—
Коэффициент, учитывающий смесеобразование в корне факела	$\beta_{см}$	PSISM	—
Коэффициент, учитывающий влияние температуры на начальном участке факела	β_v	PSIV	—
Коэффициент избытка воздуха, в зоне активного горения	$\alpha_{аг}$	PLAG	—
Температура на выходе из зоны активного горения	$T''_{аг}$	TAG	K
Теплота сгорания топлива, низшая	$Q^р_н$	QRN	МДж/кг
Объем дымовых газов при нормальных условиях и избытке воздуха $\alpha=1.4$	$v_г$	VG	—— $м^3/кг$

```
      SUBROUTINE AZOT.
      REAL KNO2TR, KNO2B3, KNO2
      DIMENSION ZH (17, 12)
      READ 5, TIR GOR, PLG, PL1, PC, W1W2, DLT, DL3,
                        DLSBR, NZ, VOG, VO
    5 FORMAT (8F5, 2, I5, 2F5.2)
      TAG=ZH (8NZ)+273
      IF (0.9. LE. PLG. AND. PLG. LE. 1.3) GO TO 10
      PRINT 215.
      PRINT9, PLG
    9 FORMAT (70X, 'АГР=', F8.3)
   10 IF (8.24.LE.PL1.AND.PL1.LE.041) GO TO 20
      PRINT 215.
      PRINT 19, PL1.
   19 FORMAT (70X, 'АПВ=', F8.3)
   20 IF (8. LE. RG. AND. RG. LE. 30) GO TO 30
      PRINT 215
      PRINT 29, RG
   29 FORMAT (70X, 'РГ=', F8.3)
   30 IF (TAG. LT. 1250.) GO TO 35
      IF (2050. LT. TAG.) GO TO 45
      GO TO 40
   35 PRINT 39
   39 FORMAT ('Внимание! Вследствие ТАГ меньше 1250 счет
      остановлен')
      GO TO 95
      PRINT 215
   45 PRINT 46, TAG
   46 FORMAT (70X,' ТАГ=', F8.3)
   40 PNT=10, * PNP/QRN
      VG=VOG+0.4 *·VO
      PLAG=PLG+DLT/2.+DL3+DLSBR
      PSIL1=1.73 * PL1+0.48
      PSIRG=1.−0.016 * SQRT(RG)
      IF(TIPGOR.LT. 0.5) GO TO 50
      IF(1.0. LE. W1W2. AND. W1W2. LE. 1.7)GO TO 55
      PRINT 54, W1W2
   54 FORMAT (70X, 'ОС=', F8.3)
   55 RSILG=(0.35 * PLG+0.4) * * 2
      PSISM=0.4 * W1W2 * * 2+0.32
      GO TO 60
   50 IF(1.5. LE. W1W2. AND. W1W2. LE. 2.4)GO TO 57
      PRINT 215
      PRINT 56, W1W2
   56 FORMAT (70X, 'ОС=', F8.3)
   57 PSILG=(0.53 * PLG+0,12) * * 2
      PSISM=0.98 *    W1W2−0.47
```

```
      PSIV=0.11 * (TAG-1100) * * (1./3)
      KNO2TR=0,7 * PNT * PSIL1 * PSIRG * PSILG * PSISM *
     PSIV
      IF (TAG.LT. 1800) GO TO 70
      KNO2B3=1.54D16 * SQRT ((PLAG-1.)/ PLAG) *
     EXP (-6.7E4/ TAG /SQRT(TAG))
      GO TO 80
   70 KNO2B3=0
   80 KNO2=KNO2TR+KNO2B3
      KN02 = CNO2 * QRN/VG
      PRINT 100
  100 FORMAT (42X, 'исходные данные для расчета окислов азота'//)
      IF(TIPGOR. LE. 0.5) GO TO 110.
      PRINT 105
  105 FORMAT(47X, 'тип горелки — вихревая'//)
      GO TO 118
  110 PRINT 115
  115 FORMAT (47X, 'тип горелки — прямоточная'//)
  118 PRINT 120
  120 FORMAT (25X, 77 ('-'))
      PRINT 125
  125 FORMAT (27X, 'ТГ', 5X, 'АГР', 4X, 'АПВ', 4X,
     'РГ', 5X, 'ОС', 5X, 'АТ', 5X, 'АТР', 4X,
     'АСБ', 4X, 'НЗ', 5X, 'ОГ', 5X, 'ОВ')
      PRINT 120
      PRINT 130
  130 FORMAT (25X, '3(3X, '--------', 3X)', 3X, '%', 3X,
     5(3X, '--------', 3X), 2(1X, 'НМ³/КГ'))
      PRINT 120
      PRINT 135, TIP GOR, PLG, PL1, PC, W1W2, DLT, DL3, DLSBR,
     N3, VOG, VO
  135 FORMAT (25X, 8F 7.3, 2X, I2, 3X, 2F7.3)
      PRINT 120
      DO 140 I=1,5
  140 PRINT 145
  145 FORMAT (128X)
      PRINT 150
  150 FORMAT (47X, 'сводная таблица расчетных величин'//)
      PRINT 160
  160 FORMAT (32X, 63('--------'))
      PRINT 165
  165 FORMAT (34X, 'N наименование', 17X, 'обозначн. размерн.
     значение'/)
      PRINT 170
  170 FORMAT (33X, 'п/п расчетных величин', 30X, 'величин')
      PRINT 160
```

```
      PRINT 175, KNOTR
  175 FORMAT (34X, ' I топливные окислы азота', 9X, 'КТП
     КГ/ГДЖ', F8.3)
      PRINT 180, KNO2B3
  180 FORMAT (34X, '2 воздушные окислы азота', 9X, 'КВЗ
     КГ/ГДЖ', F8.3)
      PRINT 185, KNO2
  185 FORMAT (34X, '3 суммарные окислы азота', 9X, 'КСМ
     КГ/КДЖ', F8.3)
      PRINT 190, CNO2
  190 FORMAT (34X, '4 концентрация окислов азота', 9X,
     'CNO г/м3', F8.3)
      CONTINUE
      PRINT 160
      DO 195, I=1,5
  195 PRINT 200
  200 FORMAT (128X)
      PRINT 205
  205 FORMAT (115X, 12 ('——') / 115X, 'факел')
      PRINT 210
  210 FORMAT ('I' 126('——'), 'I')
  215 PRINT 220
  220 FORMAT ('Внимание! За пределы проверенного диапазона'
     * IX, 'выходит исходный параметр')
      RETURN
      END
```

Примеры расчета концентрации окислов азота при

При температуре

топлива	Тип котла	Концентрация окислов азота $\alpha=1{,}02$ C'_{NO}, мг/м³	Коэффициент избытка воздуха α	Содержание азота в топливе N^p, %	Доля рециркуляции $\frac{r}{}$, %	Способ подачи газов рециркуляции рец
Мазут		800	1,015	0,38	6	
Газ		850	1,025	—	4	
Мазут	ТГМП-314	789	1,020	0,38	16	0,025
Мазут		789	1,020	0,38	4	
Мазут		789	1,10	0,38	4	
Мазут		1132	1,015	0,4	12	0,02
Мазут	ТГМП-1202	1132	1,02	0,4	15	0,02
Газ		1397	1,015	—	4,5	0,02
Газ		1397	1,02	—	14	0,02
Мазут	БКЗ-320	494	1,036	0,5	0	—
Мазут	ТГМ-94	584	1,01	0,3	10	0,025
Мазут	ТП-80	698	1,07	0,3	3	0,025
Мазут	ПК-41	660	1,06	0,72	0	—
Мазут	ПК-41	658	1,02	0,72	0	—
Мазут	ПК-41	660	1,06	0,72	17,5	0,025
Мазут	ПК-41	660	1,05	0,72	16,0	0,025
Нефть	ПК-41	656	1,05	0,55	0	—
Нефть	ПК-41	655	1,03	0,55	10	0,025
Мазут	ПК-41	659	1,03	0,72	17,5	0,025
Мазут	ПК-41	660	1,05	0,72	0	—
Мазут	ПК-41	661	1,08	0,72	0	—
Газ	ПК-47	442	1,00	—	0	—
Газ	ПК-47	442	1,134	—	0	—
Мазут	ПК-47	507	1,116	0,42	0	—

Среднее значение ошибок $=\frac{0{,}42012}{24}=0{,}017505=0{,}13231$ или 13,2%

При температуре

Вид топлива	Тип котла	Концентрация окислов азота $\alpha=1{,}02$ C'_{NO}, мг/м³	Коэффициент избытка воздуха α	Содержание азота в топливе $\frac{N^p}{\%}$
Газ	ПТВМ-100	673	1,03	0

ПРИЛОЖЕНИЕ 4
Справочное

Таблица 5

сжигании газа и мазута (при номинальной нагрузке)

воздуха более 500 К

Коэффициенты: тепловой производительности топки (одного корпуса) $K_т$	Коэффициенты: избытка воздуха (действит.) $K_в$	Результаты: рециркуляции K_r	Результаты: расчета C'_{NO_2}, мг/м³	Результаты: непосредственного определения по контрольной методике C''_{NO_2}, мг/м³	Разница между расчетным и экспериментальным результатом $C'-C''$, мг/м³	Квадрат относительной ошибки $\left(\frac{C'-C''}{C''}\right)^2$
	0,96	0,85	601	539	62	0,01323
	1,04	0,90	732	760	−28	0,0014
0,92	1,00	0,60	436	370	66	0,031813
	1,00	0,90	653	719	66	0,008342
	1,36	0 90	888	1027	−139	0,018193
	0,96	0,76	809	780	29	0,001382
	1,00	0,70	776	803	−107	0,014684
0,98	0,96	0,91	1123	1100	23	0,000437
	1,00	0,72	925	850	75	0,007863
0,78	1,12	1,00	432	472	−40	0,007341
0,87	0,91	0,75	347	345	2	0,000026
0,87	1,29	0,925	725	678	47	0,004722
0,92	1,25	1,00	759	719	40	0,003095
0,92	1,00	1,00	605	657	−52	0,006178
0,92	1,25	0,56	425	329	96	0,085214
0,92	1,20	0,60	437	370	67	0,032971
0,92	1,20	1,00	724	616	108	0,030866
0,92	1,08	0,75	488	554	− 66	0,014147
0,92	1,08	0,56	367	308	59	0,036295
0,92	1,20	1,0	729	863	134	0,024233
0,92	1,33	1.0	809	1027	218	0,045141
0,77	0,79	1,00	269	256	13	0,002527
0,77	1,124	1,00	383	351	32	0,008076
0,77	1,27	1,00	495	431	64	0,021924
						$\Sigma=0{,}42012$

воздуха менее 500 К

Коэффициенты: тепловой производительности топки $K_т$	Коэффициенты: избытка воздуха $K_в$	Результаты: горячего воздуха $K_г$	Результаты: расчета C'_{NO_2}, мг/м³	Результаты: непосредственного определения по контрольной методике C''_{NO_2}, мг/м³	Разница между расчетным и экспериментальным результатом $C'-C''$, мг/м³	Относительная ошибка $\frac{C'-C''}{C}$
0,7	1,08	0,68	346	350	−4	−0,011

ПРИЛОЖЕНИЕ 5
Рекомендуемое

Программа расчета на ЭВМ содержания окислов азота для газомазутных котлов

Программа написана на языке Фортран применительно к машине ЕС СМ-1420.

В программе употребляются параметры, приведенные в табл. 6.

Таблица 6

Наименование параметра	Обозначение		Размерность
	в методике	на печати	
Номинальная паропроизводительность котла	$D_н$	DN	кг/с
Фактическая паропроизводительность котла	D	D	« »
Низшая располагаемая теплота сгорания топлива	$Q_н^р$	QPH	МДж/м^3 МДж/кг
Располагаемый расход топлива	$B^р$	BP	м^3/с; кг/с
Ширина топки (в свету)	$a_{тп}$	AT	м
Глубина топки (в свету)	$в_{тп}$	BT	« »
Число ярусов горелок	$Z_{яр}$	Z	—
Расстояние между осями соседних горелок (по высоте)	$h_{яр}$	H	м
Температура воздуха перед горелками	$T_в$	TB	К
Коэффициент избытка воздуха в конце топки	α	*ALFA*	—
Степень (доля) рециркуляции дымовых газов	r	R	%
Коэффициент, зависящий от места ввода рециркуляции	$a_{рец}$	AR	—
Доля воздуха, подаваемая во вторую ступень горения	δ	DELTA	%
Коэффициент, учитывающий место подачи вторичного воздуха	$a_{ст}$	ACT	—
Водотопливное отношение при подаче влаги в зону горения	g	G	%

Наименование параметра	Обозначение		Размерность
	в методике	на печати	
Коэффициент, учитывающий место ввода влаги	$a_{вл}$	AB	—
Содержание азота, связанного в топливе (мазуте)	N^p	NP	%
Тепловая нагрузка лучевоспринимающей поверхности	$q_{лг}$	QLG	МВт/м^2
Концентрация окислов азота при коэффициенте избытка воздуха 1,02	C'_{NO_x}	CN	мг/м^3
Коэффициент, учитывающий тепловую производительность топки	$K_м$	KM	—
Коэффициент, учитывающий температуру воздуха, поступающего в горелки	$K_{тв}$	KTB	—
Коэффициент, учитывающий величину избытка воздуха	$K\alpha$	KA	—
Коэффициент, учитывающий рециркуляцию	K_r	KR	—
Коэффициент, учитывающий ступенчатое сжигание	$K_{ст}$	KCT	—
Коэффициент, учитывающий подачу влаги	$K_{вл}$	KB	—
Коэффициент, учитывающий действительную нагрузку котла	K_N	KN	—

На печать выведены следующие параметры:

Коэффициент избытка воздуха в конце топки	α	ALFA	—
Тепловая нагрузка лучевоспринимающей поверхности зоны активного горения	$q_{лг}$	QLG	МВт/м^2
Степень (доля) рециркуляции дымовых газов	r	R	%
Температура воздуха перед горелками	$T_в$	TB	K
Фактическая нагрузка котла	D	D	кг/с
Концентрация окислов азота	C_{NO_x}	CNOX	мг/м^3

```
      REAL NP, KM, KTB, KA, KR, KCT, KB, KN
    1 FORMAT (' если в качестве топлива используется газ'/ *' нажмите клавишу «1», если мазут — клавишу «2»')
    3 FORMAT (' введите следующие для расчета данные:'/*'$— номинальная паропроизводительность котла (кг/с) DN=')
    5 FORMAT ('$— фактическая паропроизводительность * котла (кг/с) D=')
   10 FORMAT ('$— низшая теплота сгорания топлива (МДж/м3 * или МДж/кг) QPH=')
   15 FORMAT (I1)
   20 FORMAT ('$ – располагаемый расход топлива (м3/с или кг/с) BP=')
   25 FORMAT ('$— ширина топки (м) AT=')
   30 FORMAT ('$ — глубина топки (м) BT=')
   35 FORMAT (' $— число ярусов горелок Z=')
   40 FORMAT (' $— расстояние между осями соседних горелок * по высоте (м)H = ')
   45 FORMAT (' $ — температура воздуха перед горелками (K) TB=')
   50 FORMAT ('$— коэффициент избытка воздуха в конце топки * ALFA=')
   55 FORMAT ('$— степень (доля) рециркуляции дымовых газов (не более 20%) R= ,
   60 FORMAT ('$— доля воздуха, подаваемая во вторую ступень * горения (не более 30% от общего расхода воздуха) * DELTA=')
   65 FORMAT ('$— водотопливное соотношение при подаче * влаги в зону горения (до 10%) G =')
   70 FORMAT (' $ — содержание азота, связанного в топливе * (мазуте), (%) NP=')
   13 FORMAT (E 13.4)
   75 FORMAT ('$— коэффициент. зависящий от места ввода * рециркулируемых газов (при вводе '/' рециркуляции * в под топки — 0,0025; в шлицы под горелки — 0,01; /
     *' вокруг амбразуры горелок — 0,02; в дутьевой воздух /
     *' и вокруг амбразуры горелки со скоростью, равной'/
     *' выходной скорости воздуха — 0,025) AR=')
   80 FORMAT ('$— коэффициент, учитывающий место подачи * вторичного воздуха (навстречу факелу — ' / 0,015; под * горелки — 0,007; над горелками — 0,018) ACT=')
   85 FORMAT ('$ — коэффициент, учитывающий место ввода * влаги' / (в корень факела через горелки — 0,025;'/
     *' в пристенную зону — 0,015) AB=')
   90 FORMAT ( $— величина Z*H для топок с однорядным расположением '/' горелок (единичной мощностью от *30 до 60 МВт)=3М; '/' при подовой компановке * горелок (единичной мощностью от 50 '/' до 100 МВт)
```

```
* = 7 м; для горелок мощностью от 101 до 160 МВт =
* 10 м '/' ZH=')
    WRITE (S,1)
    READ (5,15)KFUEL
    WRITE (5,3)
    READ (5,13)DN
    WRITE (5,5)
    READ (5,13)D
    WRITE (5,10)
    READ (5,13)QPH
    WRITE (5,20)
    READ (5,13)BP
    WRITE (5,25)
    READ (5,13)AT
    WRITE (5,30)
    READ (5,13) BT
    WRITE (5,35)
    READ (5,13)Z
    WRITE (5,40)
    READ (5,13)H
    WRITE (5,45)
    READ (5,13) TB
    WRITE (5,50)
    READ (5,13) ALFA
    WRITE (5,55)
    READ (5,13)R
    WRITE (5,60)
    READ (5,13) DELTA
    WRITE (5,65)
    READ (5,13)G
    WRITE (5,70)
    READ (5,13)NP
    WRITE (5,75)
    READ (5,13)AR
    WRITE (5,80)
    READ (5,13)ACT
    WRITE (5,85)
    READ (5,13)AB
    WRITE (5,90)
    READ (5,13)ZH
    QLG=QPH * BP/(2*(AT+BT)*Z*H+1,5*AT*BT
    IF(0.5.LT.QLG. AND.QLG.LT.3.0)GO TO 100
    PRINT 200

100 Q=BP*QPH
    KM=1.-EXP(-(1.5+Q**0.41)/7.1)
    IF(TB.GE.500)GO TO 105
```

```
      KTB =1. — 0.001*(620. — TB)
      GO TO 106
  105 KTB=1.
  106 KA=1.35—43.*((ALFA—1.09)**2.)+2.*(ALFA—1.09)
      KR=1.—AR*R
      KCT=1.—ACT*DELTA
      KB=1.—AB*G
      KN=(D/DN)**1.25
      IF(KFUEL. EQ. 2)GO TO 140
      CN=613.*QLG**0.88
      GO TO 150
  140 CN=632. *QLG** 0.62+100.*(NP—0.25)*(ALFA—0.8)
  150 CNOX=CN*KM*KTB*KA*KR*KCT*KB*KN
      WRITE(5,240) KM, KTB, KA, KB, KCT, KB, KN
      I=5
  300 WRITE (I, 305)
  305 FORMAT (10X, 'таблица результатов расчета'/
     */* * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * *')
      IF (KFUEL.EQ.1) GO TO 315
      WRITE (I, 310)
  310 FORMAT (I, 20X, 'топливо — мазут')
      GO TO 325
  315 WRITE (I, 320)
  320 FORMAT (1, 20X, 'топливо — природный газ')
  325 WRITE (I, 330) D
  330 FORMAT (I' фактическая нагрузка котла D=', F5.0,IX,
     4H кг/с)
  333 WRITE (I,340) ALFA
  340 FORMAT (/' коэффициент избытка воздуха в конце топки
     * ALFA=', F 4.2)
      WRITE (I, 350) QLG
  350 FORMAT (/' тепловая нагрузка лучевоспринимающей поверх-
     ности * зоны активного горения QLG=', F5.3,-IX, 6H МВт/м²)
      WRITE (I, 360) TB
  360 FORMAT (/' температура воздуха перед горелками TB=',
     * F 4.0, IX, IHK)
      WRITE (I, 365) R
  365 FORMAT (/' степень (доля) рециркуляции дымовых газов
     *R=', F4.1, IX, IH %)
      WRITE (I,370) CNOX
  370 FORMAT (/' концентрация окислов азота CNOX=', F4.0,IX,
     * 5Hмг/м³)
  240 FORMAT (7G 12.5)
      IF (I.EQ.6) GO TO 250
      I=6
      GO TO 300
```

```
      * IX, ' выходит исходный параметр )
  250 WRITE (5,251)
  251 FORMAT (' расчет окончен')
      STOP
      END
```

Подписано в печать 24.11.88. Формат 60×90 1/16. Печать офсетная.
Усл.печ.л. 1,5. Уч.-изд.л. 1,92. Тираж 1065 экз. Заказ № 7854. Цена 50к

ПМБ ВТИ им. Ф.Э.Дзержинского.
109280, Москва, ул. Автозаводская, 14/23.

gost.e-ecolog.ru