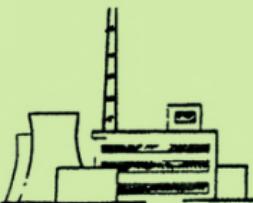


Министерство энергетики  
Российской Федерации

Российское акционерное общество  
энергетики и электрификации  
«ЕЭС России»

**МЕТОДИКА РАСЧЕТА  
ВЫБРОСОВ БЕНЗ(А)ПИРЕНА  
В АТМОСФЕРУ  
ПАРОВЫМИ КОТЛАМИ  
ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ**



**СО 153-34.02.316-2003**  
(РД 153-34.1-02.316-2003)

ОАО «ВТИ»  
Москва 2007

Министерство энергетики  
Российской Федерации

Российское акционерное общество  
энергетики и электрификации  
«ЕЭС России»

**МЕТОДИКА РАСЧЕТА  
ВЫБРОСОВ БЕНЗ(А)ПИРЕНА  
В АТМОСФЕРУ  
ПАРОВЫМИ КОТЛАМИ  
ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ**

**СО 153-34.02.316-2003  
(РД 153-34.1-02.316-2003)**

ОАО «ВТИ»  
Москва 2007

**Разработано** Открытым акционерным обществом «Всероссийский теплотехнический научно-исследовательский институт» (ОАО «ВТИ»)

**Исполнитель** С. Н. АНИЧКОВ (ОАО «ВТИ»)

**Утверждено** Министерством энергетики Российской Федерации  
приказом № 286 от 30.06.2003

Министр энергетики

*И. Х. Юсуфов*

Срок первой проверки настоящего СО – 26.09 г.,  
периодичность проверки – один раз в 5 лет.

**Ключевые слова:** бенз(а)пирен, оксиды азота, твердые частицы, выброс вредных веществ, котлы, топочная камера, топливо.

**МЕТОДИКА РАСЧЕТА  
ВЫБРОСОВ БЕНЗ(А)ПИРЕНА  
В АТМОСФЕРУ  
ПАРОВЫМИ КОТЛАМИ  
ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ**

**СО 153-34. 02.316-2003  
(РД 153-34.1-02.316-2003)  
Введено взамен  
РД 153-34.1-02.316-99**

*Дата введения 2003-07-01*

Настоящая методика устанавливает правила расчета выбросов бенз(а)пирена с дымовыми газами котлов паропроизводительностью свыше 30 т/ч при факельном сжигании жидкого, газообразного и твердого топлив, а также смеси указанных топлив.

Методика дает возможность рассчитывать как удельный выброс бенз(а)пирена, так и валовый.

Методика предназначена для расчета выбросов бенз(а)пирена при проведении инвентаризации выбросов, при оценке воздействия тепловых электростанций на окружающую природную среду и в научно-исследовательских целях.

---

**Издание официальное**

**Настоящий руководящий документ не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен без разрешения ОАО РАО «ЕЭС России» или ОАО «ЕТИ»**

# 1 РАСЧЕТ КОНЦЕНТРАЦИИ БЕНЗ(а)ПИРЕНА В УХОДЯЩИХ ГАЗАХ КОТЛОВ ПРИ СЖИГАНИИ МАЗУТА И ПРИРОДНОГО ГАЗА

1.1 Концентрация бенз(а)пирена в сухих дымовых газах котлов при сжигании мазута  $c_m$  (мкг/м<sup>3</sup>), приведенная к избытку воздуха в газах  $\alpha = 1,4$ , рассчитывается по формуле:

$$c_m = q_{nr}^{-0,53} (0,232 + 0,606 \cdot 10^{-3} \cdot q_v) K_a \cdot K_r \cdot K_d \cdot K_{ct} \cdot K_{ml} \cdot K_{ov} . \quad (1)$$

1.2 Концентрация бенз(а)пирена в сухих дымовых газах котлов при сжигании природного газа  $c_r$  (мкг/м<sup>3</sup>), приведенная к избытку воздуха в дымовых газах  $\alpha = 1,4$ , рассчитывается по формуле:

$$c_r = q_{nr}^{-1,26} (0,0536 + 0,163 \cdot 10^{-3} \cdot q_v) K_a \cdot K_r \cdot K_d \cdot K_{ct} \cdot K_{ml} . \quad (2)$$

В формулах (1) и (2):

$q_{nr}$  – теплонапряжение поверхности зоны активного горения, МВт/м<sup>2</sup>,

$$q_{nr} = \frac{Q_i^r \cdot B}{2(a_t + b_t) \cdot z_{sp} \cdot h_{sp} + 1,5a_t \cdot b_t} ; \quad (3)$$

$q_v$  – теплонапряжение топочного объема, кВт/м<sup>3</sup> (является проектной величиной, определяется из технической документации на котел);

$K_a$  – коэффициент, учитывающий влияние коэффициента избытка воздуха в дымовых газах на выходе из топки  $\alpha_t''$  (принимается по таблице 1, при  $\alpha_t'' > 1,08$  в формулах (1) и (2)  $K_a = 0,135$ );

Таблица 1

$\alpha_t''$	1,01	1,02	1,03	1,04	1,05	1,06	1,07	1,08
$K_a$	0,779	0,606	0,472	0,368	0,286	0,223	0,174	0,135

$K_r$  – коэффициент, учитывающий влияние рециркуляции,

$$K_r = 1 + d \cdot r ; \quad (4)$$

$K_d$  – коэффициент, учитывающий нагрузку котла,

$$K_d = (2 - D_f/D_w)^{2,4} ; \quad (5)$$

$K_{ct}$  – коэффициент, учитывающий ступенчатое сжигание топлива,

$$K_{ct} = 1 + b \cdot \delta ; \quad (6)$$

$K_{ml}$  – коэффициент, учитывающий подачу влаги,

$$K_{ml} = \exp(-\lambda \cdot g) ; \quad (7)$$

$K_{\text{оп}}$  – коэффициент, учитывающий увеличение выброса бенз(а)пирена при очистке конвективных поверхностей нагрева на ходу котла (принимается по таблице 2).

Таблица 2 – Значения  $K_{\text{оп}}$

Период между очистками, ч	При дробевой очистке конвективных поверхностей нагрева	При обдувке регенеративных воздухоподогревателей
12–24	1,2	1,1
40–48	1,5	1,25
72	2,0	1,5

В формулах (3) – (7):

$Q_i^r$  – низшая теплота сгорания топлива, МДж/кг (МДж/м<sup>3</sup>);

$B$  – расход топлива на котел, кг/с (м<sup>3</sup>/с) (при наличии в топке двухсветного экрана  $B$  принимается на одну ячейку);

$z_{\text{яр}}$  – число ярусов горелок ;

$h_{\text{яр}}$  – расстояние по высоте между осями соседних горелок, м (для топок с однорядным расположением горелок единичной мощностью от 30 до 60 МВт произведение  $z_{\text{яр}}h_{\text{яр}} = 3$  м);

$a_t$  – ширина топки (в свету), м (при наличии двухсветного экрана – ширина одной ячейки);

$b_t$  – глубина топки (в свету), м;

$d$  – коэффициент, характеризующий влияние рециркуляции дымовых газов на выброс бенз(а)пирена:

- при вводе в под топочной камеры  $d = 1$ ;
- при вводе в воздух или отдельный канал горелки  $d = 4$ ;
- при вводе в шилицы (сопла) напротив горелок  $d = 2$ ;
- при вводе в шилицы под горелками  $d = 2,7$ ;

$r$  – степень (доля) рециркуляции дымовых газов.

При содержании СО в уходящих газах котла менее 20 мг/м<sup>3</sup> (при  $\alpha = 1,4$ ) и  $r < 0,2$  принимать в формулах (1) и (2) значение  $K_r = 1,2$ .

При содержании СО в уходящих газах котла более 20 мг/м<sup>3</sup> (при  $\alpha = 1,4$ ) расчет  $K_r$  проводить по формуле (4) независимо от степени рециркуляции  $r$ :

$D_{\Phi}$  – фактическая паропроизводительность (нагрузка) котла, кг/с;

$D_{\text{н}}$  – номинальная паропроизводительность котла, кг/с;

$b$  – коэффициент, учитывающий воздействие воздуха, подаваемого во вторую ступень горения:

- при отключении половины горелок верхнего яруса по топливу  $b = -1$  (для мазута) и  $b = -0,2$  (для газа);
- для схемы, реализующей ступенчатое сжигание по «вертикали»,  $b = 7$ ;
- для схемы, реализующей ступенчатое сжигание по «горизонтали»,  $b = -2,7$ ;

$\delta$  – доля воздуха, подаваемая во вторую ступень горения.

При содержании СО в уходящих газах котла менее  $20 \text{ мг}/\text{м}^3$  (при  $\alpha = 1,4$ ) для схемы, реализующей ступенчатое сжигание по «вертикали» и  $\delta < 0,25$  принимать в формулах (1) и (2) значение  $K_{ct} = 1,25$ . Во всех остальных случаях  $K_{ct}$  рассчитывается по формуле (6).

При совместном применении рециркуляции дымовых газов ( $r < 0,2$ ), ступенчатого сжигания по «вертикали» ( $\delta < 0,25$ ) и содержании СО в уходящих газах котла менее  $20 \text{ мг}/\text{м}^3$  (при  $\alpha = 1,4$ ) принимать в формулах (1) и (2)  $K_r \cdot K_{ct} = 1,25$ ;

$\lambda$  – коэффициент, учитывающий воздействие влаги при вводе ее:

- в пристенную зону топки и при зональном впрыске  $\lambda = 15$ ;
- в дутьевой воздух  $\lambda = 2$ ;

$g$  – водотопливное отношение при подаче влаги в зону горения.

## 2 РАСЧЕТ КОНЦЕНТРАЦИИ БЕНЗ(А)ПИРЕНА ПРИ СЖИГАНИИ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА

Концентрация бенз(а)пирена в сухих дымовых газах котлов за золоуловителями при факельном сжигании углей  $c_t$  ( $\text{мкг}/\text{м}^3$ ), приведенная к избытку воздуха в газах  $\alpha = 1,4$ , рассчитывается по формуле:

$$c_t = \frac{A \cdot Q^r}{e^{1,5\alpha_t^r}} \cdot K_d \cdot K_{zy} , \quad (8)$$

где  $A$  – коэффициент, характеризующий конструкцию нижней части топки:

- при жидком шлакоудалении  $A = 0,378$ ,
- при твердом шлакоудалении  $A = 0,521$ ;

$Q^r$  – низшая теплота сгорания топлива,  $\text{МДж}/\text{кг}$ ;

$\alpha_t^r$  – коэффициент избытка воздуха в продуктах сгорания на выходе из топки;

$K_d$  – коэффициент, учитывающий нагрузку котла,

$$K_d = (D_d/D_a)^{1,1} ; \quad (9)$$

$K_{zy}$  – коэффициент, учитывающий степень улавливания бенз(а)-пирена золоуловителями,

$$K_{sy} = 1 - \eta_{by} \cdot Z / 100. \quad (10)$$

В формулах (9) и (10):

$\Delta_{\phi}$  – фактическая нагрузка котла, кг/с;

$\Delta_{n}$  – номинальная нагрузка котла, кг/с;

$\eta_{by}$  – КПД золоуловителя (по золе), %;

$Z$  – коэффициент, учитывающий снижение улавливающей способности бенз(а)пирена золоуловителями:

– для сухих аппаратов  $Z = 0,7$ ;

– для мокрых аппаратов  $Z = 0,8$ .

### 3 РАСЧЕТ ВЫБРОСОВ БЕНЗ(А)ПИРЕНА

3.1 Масса выброса бенз(а)пирена  $M_{БП}$  (г/с) рассчитывается по формуле:

$$M_{БП} = B \cdot V_{cr} \cdot c_{БП} \cdot 10^{-6}, \quad (11)^*$$

где  $B$  – расход топлива, кг/с ( $m^3/s$ );

$V_{cr}$  – объем сухих дымовых газов при  $\alpha = 1,4$ ,  $m^3/kg$  ( $m^3/m^3$ );

$c_{БП}$  – концентрация бенз(а)пирена в сухом дымовом газе ( $мкг/m^3$ ),

приведенная к  $\alpha = 1,4$ , определяется по формулам (1), (2), (8)

в зависимости от вида сжигаемого топлива.

3.2 При совместном сжигании различных топлив концентрация бенз(а)пирена в сухих дымовых газах ( $мкг/m^3$ ), приведенная к  $\alpha = 1,4$ , определяется по формуле:

$$c_{БП}^{cm} = q_1 (c_{БП})_1 + q_2 (c_{БП})_2 + \dots + q_i (c_{БП})_i, \quad (12)$$

где  $q_1, q_2, \dots, q_i$  – доля тепловыделения в топке каждого из видов топлив,

$$q_i = Q_i^r \cdot B_i / Q_t, \quad (13)$$

$Q_i^r$  – низшая теплота сгорания указанных топлив,  $МДж/kg$

$(МДж/m^3)$ ;

$B_i$  – расход каждого из видов топлива, кг/с ( $m^3/s$ );

$Q_t$  – суммарное тепловыделение в топке,  $МВт$ ;

$(c_{БП})_1, (c_{БП})_2, \dots, (c_{БП})_i$  – концентрация бенз(а)пирена в сухих дымовых газах, формируемая каждым из видов топлив, определяется по формулам (1), (2), (8),  $мкг/m^3$ .

$$\text{Тогда } V_{cr} = V_{ir}^0 + 0,984 (\alpha - 1) \cdot V_i^0 - V_{iH_2O}^0, \quad (14)$$

где  $V_{ir}^0, V_i^0, V_{iH_2O}^0$  – соответственно, объем дымовых газов, воздуха и водяных паров при стехиометрическом сжи-

гании 1 кг ( $\text{м}^3$ ) топлив,  $\text{м}^3/\text{кг}$  ( $\text{м}^3/\text{м}^3$ ). Если в топку или горячий воздух вводится дополнительно влага, она также должна учитываться.

3.3 При совместном сжигании различных топлив масса выброса бенз(а)пирена  $M_{БП}$  (г/с) рассчитывается по формуле:

$$M_{БП} = \sum B_i V_{i,cr} \cdot c_{БП}^{cr} \cdot 10^{-6}. \quad (15)^*$$

*Примечание* – По формулам (11)\* и (15)\* могут рассчитываться и валовые выбросы бенз(а)пирена, т/год.