

**УДК 504.062**

Е.В. ВОРОНИНА, студент гр. 4-3а (ИГЭУ)  
Научный руководитель Е.А. КАРПЫЧЕВ, к.т.н. (ИГЭУ)  
г. Иваново

## **АНАЛИЗ И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЙСТВУЮЩИХ И ВНЕДРЯЕМЫХ МЕТОДОВ СОКРАЩЕНИЯ ВЫБРОСОВ ОКСИДОВ АЗОТА, РЕАЛИЗУЕМЫХ НА ТЭЦ-26 ПАО «МОСЭНЕРГО»**

Объектом рассмотрения в данной работе является филиал ПАО «Мосэнерго» ТЭЦ-26. На промплощадке станции имеется 44 стационарных источника загрязнения атмосферного воздуха, в числе которых 32 организованных и 12 неорганизованных источника. При работе станции в воздух выбрасываются загрязняющие вещества (ЗВ) 32 наименований в количестве 10667,52 т/год; мощность выброса составляет 2825,3 г/сек. Так как данная ТЭЦ большую часть времени работает на природном газе, её главной экологической проблемой являются повышенные выбросы оксидов азота. Очистка уходящих газов от  $\text{NO}_x$  представляется нам одной из основных технических проблем не только данной станции, но и энергетики в целом. Однако даже в том случае, если необходимые методы являются экологически обоснованными, их применение потребует крупных финансовых затрат. Стоимость реализации требующихся способов составляет величину примерно в 15-20% от стоимости самой ТЭЦ, что говорит о экономической нерациональности.

Для уменьшения фактического выброса  $\text{NO}_x$  на ТЭЦ реализовано несколько первичных режимно-технологических мероприятий по подавлению оксидов азота в процессе горения топлива, как то:

- ступенчатое сжигание (обеспечивает наиболее полное сжигание топлива);
- рециркуляция дымовых газов (обеспечивает снижение максимальной температуры горения и уменьшение концентраций реагирующих веществ из-за разбавления продуктами сгорания).

С целью обоснования введения методов по подавлению  $\text{NO}_x$  на ТЭЦ-26 нами выполнен расчёт фактических выбросов (ФВ) до реализации указанных мероприятий, а также расчёт ФВ после их реализации (получено значения  $M_{\Sigma\text{NO}_2}$  на сегодняшний день).

Для примера был рассмотрен источник выброса ЗВ 0001. Он представляет собой дымовую трубу котлотурбинного цеха №1. Данная труба состоит из трёх стволов: ствол 1 — два барабанных котла марки ТГМ-96Б и один прямоточный марки ТГМП-314; ствол 2 — два прямоточных котла марки ТГМП-314; ствол 3 — пять водогрейных котлов марки ПТВМ-180 и два — марки КВГМ-180.

Чтобы определить эффективность применения данных мероприятий, следует произвести сравнение значений фактического выброса с нормативно допустимым выбросом (НДВ). В результате сравнения нами было сделано несколько выводов:

1) фактический выброс оксидов азота ( $M_{\Sigma NO_2} = 500,22$  г/с) [1] превышает НДВ (НДВ = 420,14 г/с) [2];

2) превышение составило около 1,2 раза, что подтверждается выражением (1):

$$\delta = \frac{M_{\Sigma NO_2}}{НДВ} = \frac{500,22}{420,14} = 1,193 \approx 1,2 \text{ раза}; \quad (1)$$

3) необходимая эффективность мероприятий по снижению фактических выбросов составляет 16%, что подтверждается выражением (2):

$$\frac{M_{\Sigma NO_2} - НДВ}{M_{\Sigma NO_2}} = \frac{500,22 - 420,14}{500,22} \cdot 100 \% = 16,01 \%; \quad (2)$$

Результаты, получаемые после реализации методов с необходимой эффективностью, приведены в табл. 1.

**Таблица 1. Сводные данные расчетов фактических выбросов оксидов азота (в пересчете на NO<sub>2</sub>)**

Значения фактического выброса оксидов азота (в пересчете на NO <sub>2</sub> )			
Обозначение	Без применения мероприятий	С применением существующих мероприятий	С применением существующих мероприятий, а также после замены горелок
$M_{B1(NO_2)}$	42,2289	11,0851	11,0851
$M_{B2(NO_2)}$	34,3721	9,0227	9,0227
$M_{П1(NO_2)}$	100,3325	26,3373	15,8024
$M_{П2(NO_2)}$	100,9899	26,5099	15,8059
$M_{П3(NO_2)}$	100,9831	26,5081	15,8048
$M_{B1(NO_2)}$	17,4415	17,4415	17,4415
$M_{B2(NO_2)}$	18,3844	18,3844	18,3844
$M_{B3(NO_2)}$	18,3688	18,3688	18,3688

$M_{B4(NO_2)}$	17,5887	17,5887	17,5887
$M_{B5(NO_2)}$	17,7359	17,7359	17,7359
$M_{B6(NO_2)}$	17,6623	17,6623	17,6623
$M_{B7(NO_2)}$	14,1298	14,1298	14,1298
$M_{\Sigma NO_2}$	<b>500,2182</b>	<b>220,7746</b>	<b>189,0325</b>

Применение ступенчатого сжигания совместно с рециркуляцией даёт возможность снизить значение фактических выбросов оксидов азота (в пересчете на  $NO_2$ ) более чем в 2 раза, что позволяет обеспечить допустимое значение выбросов относительно НДВ. Эффективность при комбинации этих мероприятий на данной станции составляет около 56%.

Мероприятия, используемые в настоящее время на ТЭЦ-26, не являются единственными в борьбе с повышенными показателями оксидов азота. Так, в 2022 году на станции планируется обновление горелочных устройств на прямоточных котлах ТГМП-314П (в связи с исчерпанием эксплуатационного ресурса имеющейся аппаратуры). Заменяемые горелки подверглись физическому износу, который длительное время приводил к ухудшению показателей работы котла. Наиболее эффективной в данном случае нам представляется замена используемых горелок марки ЭК-3 (горелки ЭК-3 по паспорту) со стандартным выбросом  $NO_x$  на новые малотоксичные горелки марки ГТМ-100.

Это мероприятие позволит станции объединить в себе как плановую модернизацию горелочных устройств, так и снижение негативного воздействия на атмосферный воздух, что в дальнейшем приведет к улучшению экологической обстановки в районе действия ТЭЦ-26.

С использованием данных табл. 1 нами была вычислена эффективность подавления оксидов азота, которая обеспечивается вводом горелок с низким выбросом  $NO_x$ . Для данного энергетического объекта она составила 14,5 % ( $\eta_{эф.г.н.в.}$ ) — в дополнение к тем 56%, которые обеспечиваются уже существующими на станции методами. В результате общая эффективность применения трёх мероприятий составляет около 70,5%.

С опорой на полученное значение определена эффективность установки малотоксичных горелок:

$$K_{комб} = 1 - (1 - \eta_{комб.(с.ж.;р.г.)}) \cdot (1 - \eta_{г.н.в.}), \quad (3)$$

$$\eta_{г.н.в.} = \frac{K_{комб} - \eta_{комб.(с.ж.;р.г.)}}{1 - \eta_{комб.(с.ж.;р.г.)}} = \frac{0,705 - 0,56}{1 - 0,56} = 0,33 \cdot 100 \% = 33 \%. \quad (4)$$

где  $\eta_{\text{комб.}(с.ж.;р.г)}$  — эффективность комбинации ступенчатого сжигания и рециркуляции дымовых газов.

Таким образом, при использовании одного метода подавления оксидов азота (в частности, малотоксичных горелочных устройств) была обеспечена эффективность уменьшения выбросов  $\text{NO}_x$  на 33%.

Для самого предприятия данное обновление, кроме всего вышеперечисленного, может быть экономически выгодно. Это объясняется следующим:

1. Применение комбинации трёх методов обеспечит повышение эффективности подавления  $\text{NO}_x$  на 14,5% (относительно значения эффективности существующих методов). Это позволит не только улучшить экологическую обстановку в данном районе Москвы, но и даст ТЭЦ возможность уменьшить расходы на плату за негативное воздействие на окружающую среду (НВОС). По нашим расчетам, плата снизится примерно на 132 тыс. рублей в год, что составляет 40% от сегодняшнего НВОС от котлов ТГМП-314;

2. Так как НДС на данном предприятии не превышен уже при комбинировании двух мероприятий по подавлению окислов азота, то логично предположить, что после модернизации горелочных устройств можно добиться более высокой экономической выгоды без нанесения сверхдопустимого ущерба экологии. Станция может провести испытания по частичному отключению системы рециркуляции дымовых газов на котлах ТГМП-314, где и будет производиться замена горелочных устройств. В этом случае общая эффективность применения метода ступенчатого сжигания совместно с модернизированными горелками, имеющими низкий выброс  $\text{NO}_x$ , будет вычисляться по формуле:

$$K_{\text{комб}} = 1 - (1 - \eta_{\text{ступ.сж.}}) \cdot (1 - \eta_{\text{г.н.в.}}), \quad (5)$$

Где  $\eta_{\text{ступ.сж.}}$  — эффективность ступенчатого сжигания, как отдельно применяемого мероприятия (в среднем для газа составляет от 40 до 70%; примерное значение для рассмотренной станции – 45%).

$$K_{\text{комб}} = 1 - (1 - 0,45) \cdot (1 - 0,33) = 0,63 \cdot 100\% = 63 \% \quad (6)$$

Данная эффективность соответствует нормативу допустимого выброса, не превышая его.

Главным недостатком рециркуляции дымовых газов является необходимость дополнительных расходов на нужды предприятия для эксплуатации. В течение года на это уходит немало финансовых средств, которые станция могла бы направить на другие цели.

При частичном отказе от этого мероприятия на вышеуказанных котлах станция сможет сэкономить следующую сумму [3]:

$$И_{э/э} = ((P \cdot \tau_1) + (P \cdot \tau_2) + (P \cdot \tau_3)) \cdot C_{э/э} = 6\,043\,607,7 \text{ руб./год}, \quad (7)$$

где  $P = 390$  кВт – потребляемая мощность (три прямоточных котла ТГМП-314П оборудованы центробежными дымососами рециркуляции дымовых газов типа ГД-2-500У с потребляемой мощностью 390 кВт);  $\tau = 8065/7692/7372$  ч – время работы каждого из трех котлов в год на 2020 год;  $C_{э/э} = 0,67$  руб/кВт·ч — себестоимость электроэнергии, выпускаемой крупными ТЭЦ ПАО «Мосэнерго».

Выводы:

1. Планируемая замена горелочных устройств в 2022 году будет являться не только эффективным мероприятием для подавления оксидов азота в процессе горения топлива (в пересчете на  $NO_2$ ), но и экономически выгодным событием, так как позволит сократить издержки электроэнергии на собственные нужды на 6,04 млн. руб./год;

2. При принятии станцией решения частичного отказа от метода рециркуляции эффективность оставшихся мероприятий (а именно ступенчатого сжигания и малотоксичных горелок) обеспечит соответствие НДВ и снижение  $NO_x$  на 62%. По итогам можно будет наблюдать увеличение эффективности уменьшения выбросов  $NO_x$  на 6% по сравнению со значением 56% за 2020 год.

#### Список литературы:

1. Рихтер Л.А., Волков Э.П., Покровский В.Н. Охрана водного и воздушного бассейнов от выбросов тепловых электростанций: Учеб. для вузов/ Под ред. П.С. Непорожного. – М.: Энергоиздат, 1981. – 296 с.
2. ОНД-86. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 94 с.
3. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов: (Вторая редакция)/ Министерство экономики РФ, Министерство финансов РФ. – М., ОАО НПО «Изд-во “Экономика”», 2000. – 421 с.