

- поиск решений для регулярного проведения профилактических работ на трубопроводах теплосети и внутридомовых трубопроводов;

Достижение хотя бы одной цели по оптимизации тепловых потерь уже существенно приведет к снижению тепловых потерь и к увеличению КПД источников тепла, а значит и к снижению расхода топлива на них, что является главной задачей энергосбережения. Принятие каких-либо мер неотлагательно в виду критического состояния участков теплосети большой протяженности.

*Библиографический список*

1. Михайлов С.А., Клименко А.В., Извеков А.В. Концепция развития теплоснабжения в России, включая коммунальную энергетику, на среднесрочную перспективу: Официальная информация Минэнерго РФ. М., 2000.
2. Слепченко В.С., Петраков Г.В. Повышение энергоэффективности теплоизоляции трубопроводов тепловых сетей северных и северо-восточных регионов России // Инженерно-строительный журнал. 2011. № 4 (22). С. 26-32.
3. Кузнецов Л.А., Григорьева Л.А. Определение потерь тепловой энергии через изоляцию трубопроводов теплофикационной воды в результате тепловых испытаний // Новости теплоснабжения. 2006. № 3. С. 51-52.
4. Байбаков С.А., Тимошкин А.С. Основные направления повышения эффективности тепловых сетей // Электрические станции. 2004. № 7. С. 19-25.

## МЕТОДОЛОГИЧЕСКОЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ОБРАЗОВАНИЯ ОКСИДОВ АЗОТА ПРИ СЖИГАНИИ ТВЕРДЫХ ТОПЛИВ В КИПЯЩЕМ СЛОЕ

*Прошин А.С., Муниц Ю.Г.  
УрФУ, a\_s\_p@planet-a.ru*

Динамика образования оксидов азота в кипящем слое в процессе выгорания частиц твердых топлив изучалась на экспериментальной установке, представляющей собой электропечь с цилиндрической камерой нагрева внутренним диаметром 50 мм и с вваренным в днище воздухораспределительным колпачком. В экспериментах контролировалась температура кипящего слоя и расход воздуха, а также непрерывно измерялся состав продуктов сгорания с помощью газоанализаторов ГИАМ-14 (CO<sub>2</sub>), Бекман 951 А (NO<sub>x</sub>), ГАММА-100 (CO). Характеристика используемых топлив приведена в таблице.

Показатель	Единица измерения	Подмосковный уголь	Донецкий антрацит	Березовский уголь	Кузнецкий тощий уголь	Кокс
A <sup>r</sup>	%	46,9	38,5	3,5	26,4	13,9
W <sup>r</sup>	%	6,02	3,09	36,9	1,37	0,18
Q <sub>i</sub> <sup>r</sup>	МДж/кг	13,07	19,96	15,5	25,23	28,3
V <sup>daf</sup>	%	49,6	10,72	47,7	12,21	0,52
H <sup>r</sup>	%	2,2	1,83	2,76	2,87	0,32
N <sup>r</sup>	%	0,28	0,65	0,64	1,44	1,4
O <sup>r</sup>	%	9,64	1,44	12,2	2,13	0,17
S <sup>r</sup>	%	2,2	2,28	0,35	0,51	0,48
C <sup>r</sup>	%	32,66	51,22	43,6	64,69	83,6

Для всех углей наблюдается корреляция между изменениями концентраций  $\text{CO}_2$  и  $\text{NO}_x$ : в период горения летучих происходит синхронное, резкое увеличение концентраций  $C_{\text{NO}_x}$  и  $C_{\text{CO}_2}$ , а на стадии горения коксового остатка постепенное их уменьшение до нуля. При сжигании топлив с незначительным содержанием летучих: антрацита, отсева кокса и полукокса кузнецкого угля максимум концентраций  $\text{CO}_2$  и  $\text{NO}_x$  выражен не так ярко, оксиды азота и углерода образуются более равномерно. Сходство профилей концентраций  $\text{CO}_2$  и  $\text{NO}_x$  свидетельствует об одинаковых закономерностях их образования при горении коксовой части углей.

Для количественной оценки образования  $\text{CO}_2$  и  $\text{NO}_x$  рассчитывались их относительные массы  $m_{\text{NO}_x}$  ( $m_{\text{CO}_2}$ ), выделяющиеся к определенному моменту времени  $\tau$ :

$$m_{\text{NO}_x}(\tau) = \frac{\int_0^{\tau} C_{\text{NO}_x} \cdot d\tau}{\int_0^{\tau_{\Gamma}} C_{\text{NO}_x} \cdot d\tau}; \quad m_{\text{CO}_2}(\tau) = \frac{\int_0^{\tau} C_{\text{CO}_2} \cdot d\tau}{\int_0^{\tau_{\Gamma}} C_{\text{CO}_2} \cdot d\tau}$$

здесь  $\tau_{\Gamma}$  – полное время выгорания навески топлива, определяемое экспериментально.

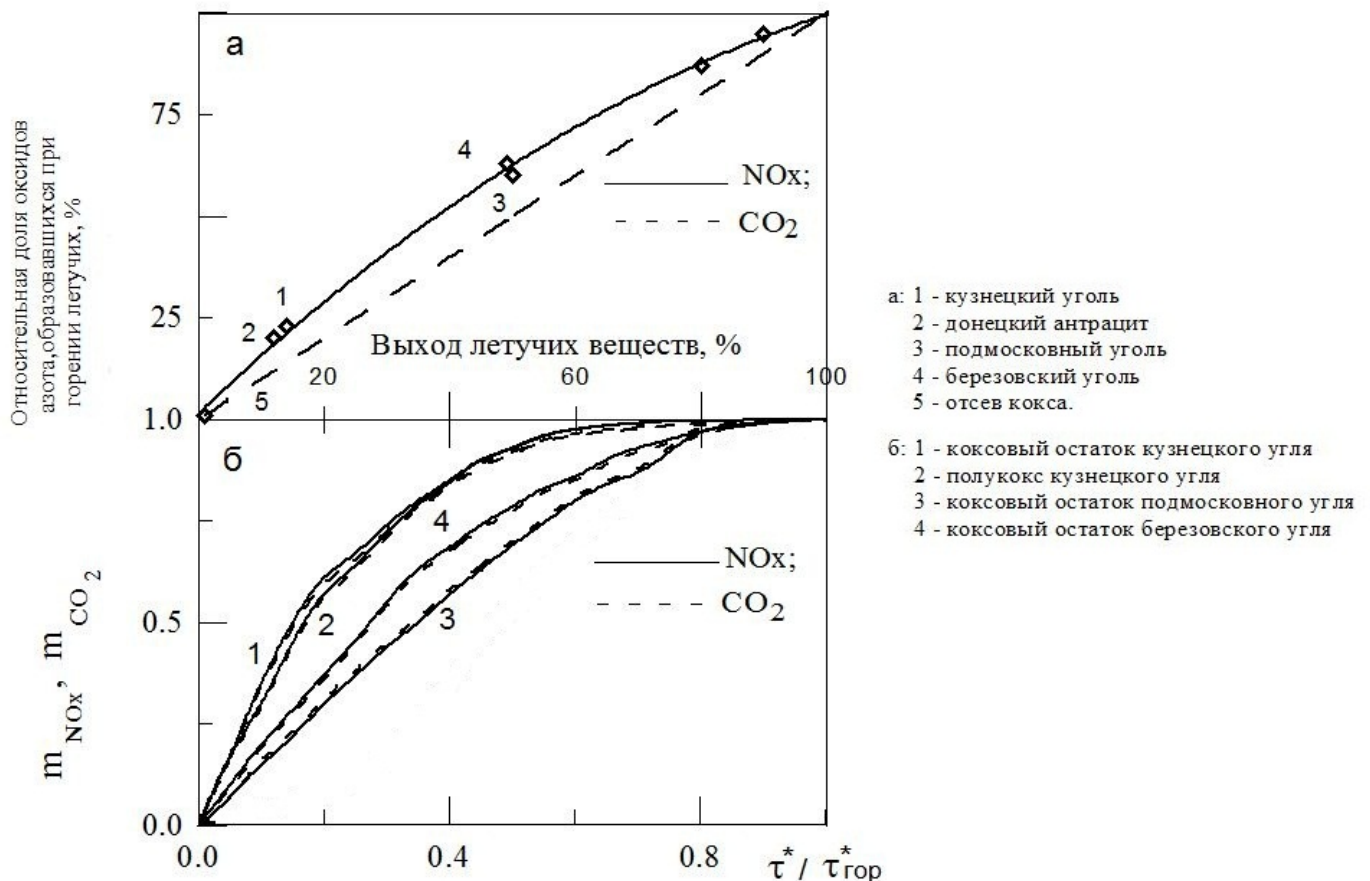
В большинстве существующих методик расчета полагается, что подавляющая часть азотсодержащих соединений разлагается при выходе летучих. Однако, полученные экспериментальные данные (рисунок) свидетельствуют о том, что в исследованном диапазоне температур пренебрежение образованием оксидов азота при окислении коксового остатка углей неправомерно, особенно для топлив с низким выходом летучих.

В ряде работ отмечается, что угольная частица состоит из сложных молекулярных комплексов, в которых атомы азота и углерода тесно связаны, и при горении, когда происходит разрушение молекулярных связей, атомы С и N освобождаются одновременно в определенных пропорциях и, реагируя с кислородом, образуют в конечном итоге  $\text{CO}_2$  и  $\text{NO}_x$  в пропорциональных количествах. Отсюда следует, что рассматривать процессы горения углерода и образования оксидов азота нужно вместе, и механизмы этих процессов должны быть во многом схожи.

Кроме того, обработка экспериментальных данных с разделением процесса горения угольной частицы на 2 стадии: выхода и горения летучих веществ и горения коксового остатка позволила получить корреляцию кривых  $m_{\text{NO}_x}$  и  $m_{\text{CO}_2}$  отдельно для каждой стадии. Рисунок (б) иллюстрирует практическое совпадение зависимостей  $m_{\text{NO}_x}$  и  $m_{\text{CO}_2}$  от относительного времени горения  $(\tau^* / \tau_{\Gamma}^*)$  на всем протяжении горения коксовой части углей (кривые 1-4) и ле-

тучих (кривая 5). Величина ( $\tau^* / \tau_{Г}^*$ ) изменяется от 0 до 1; при рассмотрении летучих под ней понимается относительное время выхода и горения летучих ( $\tau^*$  принимает значения от 0 до  $\tau_{Л}$ ), а при рассмотрении коксового остатка – относительное время догорания коксового остатка (при этом  $\tau^*$  принимает значения от  $\tau_{Л}$  до  $\tau_{Г}$ ).

Исходя из практически точного совпадения зависимостей выхода  $\text{CO}_2$  и  $\text{NO}_x$  от времени для различных стадий горения топлив и существенного различия закономерностей горения летучих и кокса, в ходе исследования был сделан вывод о необходимости отдельного изучения закономерностей образования оксидов азота для стадий горения летучих веществ угольной частицы и коксового остатка.



Зависимость доли оксидов азота, образовавшихся из летучих, выхода оксидов азота и диоксида углерода от содержания летучих в исходном топливе на стадиях горения летучих и коксового остатка

Полученные данные по динамике образования оксидов азота позволяют рассчитать выбросы оксидов азота при сжигании твёрдых топлив в топках котлов, определить режимные параметры топочного процесса, приводящие к снижению выбросов, оптимизировать этот процесс и уменьшить экологическую нагрузку при проектировании современных экологически чистых тепловых электрических станций.