

INVESTIGATION OF THE BEHAVIOR OF NITROGEN COAL IN TORCH BURNER PYROLYSIS WITH A SHIFT OF THE COMBUSTION PROCESS

B. Ongar¹, D. Zh. Temirbaev

¹Almaty University of Power Engineering & Telecommunications (AUPET),
Ongar_bulbul@mail.ru

Keywords: atomic nitrogen, combustion chamber, coal dust, torch, air jet, the combustion process, heating process, dust system.

Annotation: One of the important tasks of the Energy is reducing the negative impact to the environment and directly to the person.

The nitrogen oxides NO_x in the atmosphere have the most detrimental effect on the environment, and above all human, wildlife and vegetation.

Man is subjected by acute respiratory diseases, and flora and fauna are by acid rain. The latter is not only harming the agriculture, but also promotes the corrosion and destruction of construction projects.

The main source of nitrogen oxides generation - is a process of burning fossil fuels. Reduction of emissions from the combustion of fuels is a major of environmental challenge.

The furnaces produced in the 95-99% of nitrogen monoxide (NO) and 1-5% more toxic nitrogen dioxide from fuel combustion (NO_2). In the atmosphere, there is the uncontrolled conversion of nitric oxide in silica. To calculate the proportion of nitrogen dioxide in the air, in the calculation of gas concentration and normalization of TPP emissions, conventionally applied a factor of 0.8.

This work is devoted to the organization of economic flaring of coal dust with acceptable low levels of nitrogen oxide formation appropriate to the reconstruction of the boiler BKZ-75-39F Tekeliysky CHP-2.

УДК 662.76 (574.25)

Исследование поведения азота угля в факеле при пиролизной горелки со сдвигом процессов горения

Д.Ж. Темирбаев, Б. Онгар Булбул¹

¹Алматинский Университет Энергетики и Связи, г. Алматы

Ключевые слова: атомарный азот, топочная камера, угольная пыль, факел, воздушная струя, процесс горения, топочный процесс, пылесистемы.

Аннотация. Одной из важных задач энергетики является снижения ее негативного воздействия на окружающую среду и непосредственно на человека [1].

Оксиды азота NO_x в атмосфере оказывают наиболее пагубные воздействие на окружающую среду и прежде всего на человека, животный мир и растительность.

Человек подвержен острым респираторным заболеваниям, а растительный и животный мир кислотным дождям. Последний не только наносит вред сельскому хозяйству, но и содействует коррозии и разрушению строительных объектов.

Главный источник генерации оксидов азота – это процессы сжигания органического топлива. Снижение их эмиссии при горении топлив является основной экологической задачей.

В топках при горении топлива образуется 95-99% монооксида азота (NO) и 1-5% более токсичного диоксида азота (NO_2). В атмосфере происходит неконтролируемое превращение оксида азота в диоксид. Для расчета доли диоксида азота в атмосферном воздухе, при расчете загазованности и нормировании выбросов ТЭС, условно применяется коэффициент 0,8.

Данная работа посвящена вопросам организации экономичного факельного сжигания угольной пыли с допустимо низкими уровнями образования окислов азота применительно к соответствующей реконструкции котла BKZ-75-39F Текелийской ТЭЦ-2.

Источниками оксидов азота являются молекулярный азот воздуха, используемого в качестве окислителя при горении, и азотсодержащие компоненты топлива. В связи с этим принято делить оксиды 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 на оксиды азота, образующиеся в зоне сравнительно низких температур в результате реакции углеводородных радикалов с молекулой азота и последующего взаимодействия атомарного азота с гидроксидом ОН [2].

В литературе [2-6] излагаются результаты расчета и разработки эскизных проектов подачи пыли Шубаркольского угля высокой концентрации (ПВК) и пиролизной горелки со сдвигом процессов горения (ПГСПП) для котла БКЗ-75-39Ф Текелийской ТЭЦ-2 с целью значительного снижения окислов азота в условиях наименьшей реконструкции котла. В работе [7] подробно рассмотрен вариант сжигания угольной ПВК 50 кг/кг под разрежением (приемлемой на период применения воздухоудовки (ВВД) для подачи ПВК под давлением). Приводится схема пароснабжения эжекторов [8].

Эскизный проект рекомендуемой для внедрения ПГСПП разработан на основе данных расчета аэродинамики факела и условий воспламенения угольной пыли высокой концентрации (ПВК).

Исходной предпосылкой к решению поставленной проблемы является свойство угля при нагреве выделять вместе с летучими и азотсодержащими веществами атомарный азот. Кинетический активный атомарный азот при наличии кислорода быстро образует окись азота, а при отсутствии кислорода, также интенсивно комбинируется в топочных температурных условиях в инертный молекулярный азот.

Реализация такого простого механизма в объеме топочной камеры связана с затягиванием процессов горения и выносом трудносжигаемых коксовых частиц в обедненную кислородом область продуктов сгорания, приводящим к увеличению механического недожога. Поэтому поиски решения вопроса пошли другими путями, разрабатываются различные виды предтопок: технологических, аэрофонтанных и других. Однако их создание связано со значительными капитальными и эксплуатационными расходами. Известно, что обладают хорошей устойчивостью и частицы топлива могут многократно циркулировать в объеме топочной камеры. Подвод окислителя и отвод продуктов реакции горения в данном случае более эффективен, чем в традиционной схеме, поэтому при использовании предлагаемого способа ухудшения полноты сгорания не наблюдается [9].

Вместе с тем, современной уровень развития топочных процессов, накопленный опыт эксплуатации огнетехнического оборудования, а также результаты исследований сложных струйных течений позволяют проводить поиски по организации топочных процессов с приемлемо низкими уровнями образования окиси азота. В этом аспекте большое значение, на наш взгляд, имеет достаточно широкий опыт внедрения и эксплуатации пылесистемы с подачей угольной пыли высокой концентрации ПВК. Сделана попытка разработки эскизного проекта пиролизной горелки со сдвигом топочных процессов (ПГСПП) с подачей угольной ПВК применительно к реконструкции котла БКЗ-75-39Ф ТТЭЦ-2.

Расчет траектории факела ГТ-6 и ПГСПП

Траекторию факела ГТ-6 и ПГСПП определим по уравнению траектории струи, истекающей по нормали к сносящему потоку (напору) [10], в виде:

$$\frac{\pi}{a_T} = \frac{1,1\Delta P_0}{\rho_C \omega_C^2} \frac{D_H}{a_T} \left(\frac{Y}{a_T}\right)^{2,5} \left(\frac{a_T}{D_H}\right)^{2,5}$$

$$\frac{\pi}{a_T} = \frac{1,1\Delta P_0}{\rho_C \omega_C^2} \left(\frac{a_T}{D_H}\right)^{1,5} \left(\frac{Y}{a_T}\right)^{2,5} = 1,1 \frac{50}{0,674 \cdot 25,1^2} \left(\frac{7}{0,75}\right)^{1,5} \left(\frac{Y}{a_T}\right)^{2,5} = 3,7 \left(\frac{Y}{a_T}\right)^{2,5}$$

Результаты расчета траектории факела ГТ-6 и ПГСПП приведены в таблице 1 и на рисунке 1 и 2.

Таблица 1. Координаты траектории факела ГТ-6 и ПГСПП

$\frac{y}{a_T}$	0,16	0,24	0,32	0,40	0,48	0,57	0,65	0,71
$\frac{x}{a_T}$	0,04	0,11	0,22	0,38	0,61	0,89	1,24	1,54
$\frac{y}{D_H}$	0,5	0,75	1,0	1,25	1,5	1,75	2,0	2,25
$\frac{x}{D_H}$	0,014	0,039	0,080	0,140	0,220	0,324	0,453	0,607

$|X|$ - направление по высоте топки, y - направление по глубине топки, $a_T = 7 \text{ м}$ - глубина топки; $D_H = 0,75 \text{ м}$ - диаметр амбразуры горелки

На основе применения подачи угольной пыли высокой концентрации (ПВК, $50 \frac{\text{кг}}{\text{кг}}$) и необходимой организации аэродинамики, теплообмена и теплового режима воспламенения летучих веществ показана возможность значительного (четырёхкратного в идеальных условиях) подавления образования окиси азота путем пиролиза угольной пыли непосредственно в топочной камере на выходе из горелочного устройства.

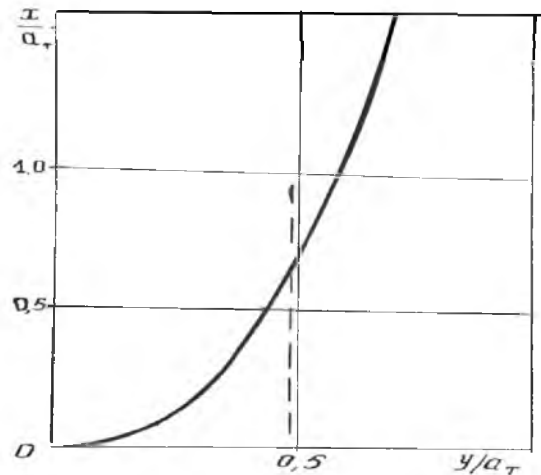
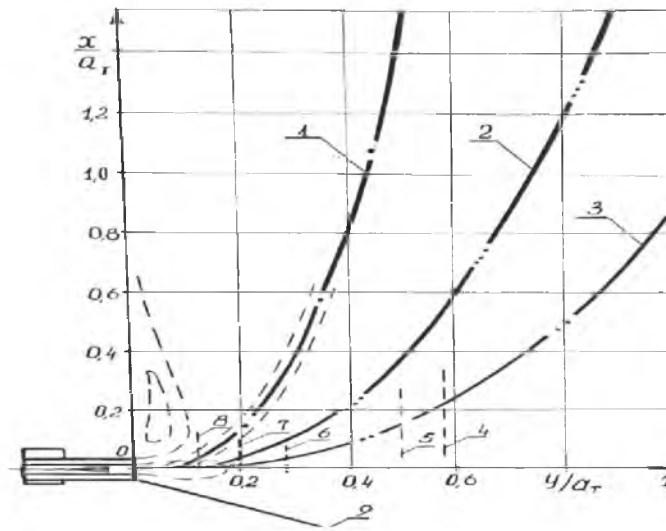


Рисунок 1 – Глубина проникновения и траектория факела ГТ-6 и ПГСПП ТТЭЦ-2

Разработан эскизный вариант однопоточной по воздуху пиролизной горелки со сдвигом процессов горения (ПГСПП) для сжигания Шубаркольского угля на котле БКЗ-75-39Ф Текелийской ТЭЦ-2. При наружном диаметре центральной трубы, равном 360 мм; скорости истечения воздуха 15,3 и $34,7 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ при температурах 0 и 345°C и скорости истечения струи паогазопыли (начальным диаметром 64 мм) $24 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ при 90°C ПГСПП имеет значение параметра крутки, равное 4, что превышает данные штатной ГТ-6 1,45 раза. Значения температуры (865°C) и времени (0,07 с) конца пиролиза угольной пыли превышают необходимые значения для воспламенения летучих Шубаркольского угля в 1,4 и 2,4 раза соответственно.



1 – при $\omega_{\text{ПП}} = 23,77 \frac{\text{М}}{\text{с}}$ и $d = 64 \text{ мм}$; 2 – траектория парогазопыли $\omega_{\text{ПП}} = 69,27 \frac{\text{М}}{\text{с}}$ и $d = 37,5 \text{ мм}$; 3 – траектория воздушной струи и парогазопыли $\omega_{\text{ПП}} = 141,7 \frac{\text{М}}{\text{с}}$ и $d = 26,2 \text{ мм}$; 4-8 – глубина проникновения факелов ПГСПП и ГТ-6; струй парогазопыли с $\omega_{\text{ПП}} = 141,7; 69,27$ и $23,77 \frac{\text{М}}{\text{с}}$; 9 – наружная граница воздушной струй.

Рисунок 2 – Траектории элементов факела ПГСПП котла БК3-75-39Ф ТТЭЦ

Разработан другой эскизный вариант двухпоточной по воздуху ПГСПП (с наружными диаметрами внутренних цилиндров 440 и 255 мм) для того же котла. Значение параметра крутки всего в 1,27 раза превышает данные штатной ГТ-6. Его данные по характеристике теплового режима тоже хуже, чем в однопоточном по воздуху варианте ПГСПП (значения температуры (801°C) и времени ($0,054 \text{ с}$) конца пиролиза угольной пыли превышает необходимые значения для воспламенения летучих Шубаркольского угля в 1,3 и 1,9 раза). Другие параметры, а также теоретические данные согласно [9] по подавлению образования окиси азота в 4 раза за счет рекомбинации атомарного азота в молекулярный в объеме 95 %, у рассмотренных эскизных вариантов ПГСПП совпадают.

Преимуществом двухпоточного по воздуху варианта ПГСПП является то, что по внутреннему кольцевому каналу подается воздух со стехиометрическим расходом для полного сжигания высокотемпературных летучих веществ Шубаркольского угля с высоким значением параметра крутки, равным 8,9. Скорости таким образом закрученной струи воздуха имеют направления, почти нормальные к направлению скорости парогазопыли. В результате летучие вещества должны от струи парогазопыли и отделяться сгорать в вихре вокруг зоны рециркуляции газов, повышая их температуры и температуру примыкающего слоя вторичного воздуха.

Главное, на наш взгляд, - это то, что отделившиеся летучие от струи парогазопыли, не будут мешать доступу вторичного воздуха к коксовому остатку угольной пыли.

Разработан эскизный проект парожектора для транспорта угольной ПВКр под разрежением в топочную камеру.

Массовый расход пара с начальным давлением 10 ат составляет 0,19 % от паропроизводительности котла БК3-75-39Ф ТТЭЦ-2 и 4,9 % от расхода топлива. Достоинством парожектора является возможность его изготовления в местных условиях. При наличии ВВД (расчетное необходимое значение напора на подачу угольной ПВКр $350 \frac{\text{кгс}}{\text{м}^2}$) или воздуходувки

лучше применять систему ПВКд под давлением. К тому же освоена система подачи угольной ПВКд до $250 \frac{\text{кг}}{\text{кг}}$ и выше [12, 13]. В данной работе используются такие общеизвестные преимущества системы подачи угольной ПВК, как увеличение скорости кинетической реакции на $5 \div 16 \%$. Вследствие повышения среднего значения абсолютной температуры газов на $5 \div 17 \%$ [14], подавление образования окислов азота до двух раз [15]. Уменьшение металлоемкости пылесистемы, автономность пылепитания горелок благодаря установке индивидуальных эжекторов, упрощения конструкции горелок и соответствующее снижение трудозатрат на ремонт и повышение ремонтпригодности пылепроводов и горелок, снижение износа пылепроводов.

Выводы

1. Разработанный эскизный проект ПГСПП с системой подачи угольно ПВК рекомендуется нами для всесторонней дальнейшей подготовки к внедрению на Текелийской ТЭЦ-2.

Предложенная методика расчета и разработка пиролизной горелки со сдвигом топочных процессов (ПГСПП) с подачей угольной пыли высокой концентрации (ПВК) требует дальнейшего развития.

2. На кафедре общей теплотехники АЭИ получены впервые интересные опытные результаты по подавлению образования окиси азота путем предварительного нагрева пыли Экибастузского угля в инертной среде до 750°C и сдвига процессов горения на время от 0 до $0,1\text{ с}$, а также путем восстановления окиси азота в дымовых газах натуральной угольной пылью и коксовой пылью Экибастузского угля ($R_{100} = 18 \%$, температура коксования 900°C).

Однако полученное на огневой опытной установке снижение концентрации окиси азота до $2 \div 4$ раз при различных режимах меньше, чем расчетные кинетические данные [9], которые хорошо согласуются с известными экспериментальными результатами В.И. Бабия и Куваева Ю.Ф. при обычных для топочных процессов температурах.

3. Поэтому задачей ближайших исследований является создание специальной установки, исключаяющей различные присосы воздуха, например, через пылепитатель, и позволяющий строго контролировать заданные температурные, концентрационные и скоростные режимы и получать более точные количественные результаты. Таким образом, полученные результаты, подтверждают исходные предпосылки о возможности организации достаточно эффективных топочных процессов, отвечающих современным энергетическим и экологическим требованиям, путем одновременного упрощения конструкции горелочных устройств и пылесистемы.

4. Воказании помощи в ускорении подготовки и внедрения ПГСПП с подачей угольной ПВК в производство с целью решения весьма актуальной энергетической охраны окружающей среды. Следует подчеркнуть, то, что ПГСПП с подачей угольной ПВК хорошо вписывается в организацию топочных процессов горения может значительно повысить энергетические и экологические характеристики потенциально эффективных тангенциальных и кольцевых топков.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Пугач Л.И. Энергетика и экология: Учебник. – Новосибирск: Издательство НГТУ, 2003. – 504 с.
- [2] Гладков В.П., Куновский Г.П., Рейнина С.З. Методика расчета системы пылепитания с высокой концентрацией пыли под разрежением // Системы и оборудование пылепитания паровых котлов // Тр. ЦКТИ. 1983. 203. – С. 21-28.
- [3] Опыт эксплуатации и исследование системы пылеподдачи с высокой концентрацией пыли при сжигании АШ//Кесова Л.А., Красноштан Н.Н., Довготелес Г.А. и др. // Теплоэнергетика. 1992. №3. – С. 57-61.
- [4] Бабий В.И., Куваев Ю.Ф. Горение угольной пыли и расчет пылеугольного факела. М.: Энергоатомиздат, 1986. 208 с.
- [5] Хмыров В.И., Зуйков В.Е., Панченко Т.Я. Выход оксидов азота при горении летучих, образующихся при пиролизе угля / Горелочные устройства энергетических котлов. – Алматы: КазНИИЭ, 1991. – С. 63-69.
- [6] Тепловые испытания котлов ЯРРОУ ст. /ТЭЦ-1/ и БКЗ-75-39Ф ст. №2 /ТЭЦ-2/ Текелийской энергокомбината ПОЭиЭ «Алматыэнерго» при сжигании угля Шубаркольского месторождения /С.С. Диамбеков. – Алматы: ИФ «Казтехэнерго», 1993. 42 с.
- [7] Расчеты по котлоагрегату БКЗ-75-39Ф ТЭЦ №2 Текелийского с/ц комбината /станционные №№1/. – Барнаул: БКЗ, 1956. – 68 с.
- [8] Здановский В.Г., Кириченко А.Ф., Яхимович А.Г. Особенности эксплуатации схемы подачи пыли высокой концентрации под разрежением // Электрические станции. – 1988. – №10. – С. 22-25.
- [9] Жуйков А.В., Кулагин В.А., Радзюк А.Ю. Способ уменьшения выбросов оксидов азота от котла БКЗ-75-39ФБ, работающего на ирша-бородинских углях // Промышленная энергетика. 2011. №8. – С. 9-11.

- [10] Палатник И.Б., Темирбаев Д.Ж. Закономерности распространения осесимметричной воздушной струи в сносимом однородном потоке // Проблемы теплоэнергетики и прикладной теплофизики. – Алматы.: Наука. 1967. Вып.4. – С. 196-216.
- [11] Исследование термохимии окислов азота горения Экибастузского угля высокой концентрации // Заключительный отчет по договору №17/91/ Д.Ж. Темирбаев. – Алматы; АЭИ, 1993. – 48 с.
- [12] Опыт эксплуатации и исследование системы пылеподдачи с высокой концентрацией пыли, при сжигании АПП // Л.А. Кесова, Л.Л. Красноштан, Г.А. Довготелес и др. // Теплоэнергетика. 1992. №3. – С. 57-61.
- [13] Попов А.А., Тарасов А.И., Музлов В.А. Опыт эксплуатации и исследования системы с концентрированной подачей пыли под давлением на блоке 500 МВт котла П-49 Назаровской ГРЭС // Системы и оборудование пылепитания паровых котлов / Тр. ЦКТИ. 1983. Вып. 203. – С. 54-60.
- [14] Кесова Л.А., Кривжановский В.Н. Повышение эффективности сжигания низкорекреационного пылевидного топлива // Изв. ВУЗов. Энергетика. 1989. №9. – С. 84-86.
- [15] Концентрированная подача пыли в горелка котлов как средство снижения содержания оксидов азота // Л.И. Пугач, Н.Н. Скерко, А.Н. Волобуев, А.Н. Казанский // Электрические станции. 1989. №6. – С. 17-20.

REFERENCES

- [1] Pugach L.I., Energy and Ecology: Textbook. - Novosibirsk: Publishing house of Novosibirsk State Technical University, 2003. - 504 p.
- [2] Gladkov V.P., Kuhn G.P., Reinin S.Z., Method of calculation system of dust power with a high concentration of dust under vacuum // Systems and equipment burning power boilers // Tr. CKTI. 203. 1983. - p. 21-28.
- [3] Operating experience and research of dust feed system with a high concentration of dust from the combustion of ASH // Kesova L.A., Krasnoshtan N.N., G.A. Dovgoteles and etc. / Thermal Engineering. 1992. №3. - p. 57-61.
- [4] Babiy V.I., Kuva Y.F., The burning of coal dust and coal-dust torch calculation. - M.: Energoatomisdat, 1986. - 208 p.
- [5] Khmyrov V.I., Zuiikov V.E., Panchenko T.Ya., The output of nitrogen oxides during the combustion of volatiles formed during coal pyrolysis / Burner devices power boilers. - Almaty KazNIIIE, 1991. - p. 63-69.
- [6] Thermal testing boilers Yarrow Art. / CHP-1 and / BKZ-75-39F Art. №2 / TPP-2 / Tekeliysky power complex POEIE "Almatyenergo" the burning of coal deposits Shubarkol / S.S. Diambekov. - Almaty: IF "Kaztehenargo", 1993. - 42 p.
- [7] Calculations on BKZ-75-39F №2 CHP Tekeli Plant / Station №1 / - Barnaul: the Concert Hall, 1956. - 68 p.
- [8] Zdanovskiy V.G., Kirichenko A.F., Yahimovich A.G., Features of operation of the high concentration of dust supply schemes under vacuum // Electric stations. - 1988. - №10. - p. 22-25.
- [9] Zhuikov A.V., Kulagin V.A., Radzyuk A.Yu., The way of reduce nitrogen oxide emissions from the boiler BKZ-75-39FB working on Irsha-Borodino coal // Industrial power. 2011. №8. - p. 9-11.
- [10] Palatnik I.B., Temirbaev D.Zh., Distribution Patterns of axisymmetric air jet into razing uniform flow / Thermal energy and Applied Problems of Thermal Physics. - Almaty.: Science. 1967 vol.4. - p. 196-216.
- [11] A study of thermochemistry high concentration of nitrogen oxides Ekibastuz coal combustion // Final report under the agreement №17 / 91 / D.Zh. Temirbaev. - Almaty; AEL, 1993. - 48 p.
- [12] Operating experience and research dust system with a high concentration of dust, the burning of DB // Л.А. Кесова, Л.Л. Красноштан, Г.А. Довготелес etc. // Thermal Engineering. 1992. №3. - p. 57-61.
- [13] Попов А.А., Тарасов А.И., Музлов В.А., The experience and research system with concentrated feed dust pressure on the block of 500 MW boiler P-49 // Nazarovo GRES systems and equipment dustpower boilers / Tr. CKTI. 1983. Vol. 203. p. 54-60.
- [14] Kesova L.A., Kryzhanovsky V.N., Improving the efficiency of the combustion of low-reactive pulverized fuel // Math. Universities. Energy. 1989. №9. - p. 84-86.
- [15] The concentrated dust supply to the boiler burner as a means of reducing the amount of nitrogen oxides. / L.I. Pugach, N.N. Skerko, A.N. Volobuev, A.N. Kazan // Electric stations. 1989. №6. - p. 17-20.

ЖАНУ ПРОЦЕСІН БҒЫСТЫРҒАН ПИРОЛИЗ ОТТЫҚ ЖАҒДАЙЫНДА ШЫРАҒДАНДАҒЫ КӨМІР АЗОТЫНЫҢ ӘРЕКЕТІ

Д.Ж. Темирбаев, Б. Оңғар Бұлбұл¹

¹Алматы Энергетика және Байланыс Университеті, Алматы қ.

Түйін сөздер: атом азоты, от жағу камерасы, көмірдің шаңы, шырағдан, ауа ағысы, жану процесі, от жағу процесі, шаң жүйелері.

Аннотация. Энергетиканың маңызды міндеттерінің бірі – оның қоршаған ортаға және адамға кері әсерін азайту [1].

Атмосферадағы NO_x азот оксидтері қоршаған ортаға және ең әуелі, адамға, жануарлар әлемі мен өсімдікке жаман әсер етеді.

Адам тыныс жолы ауруларына, ал өсімдік және жануарлар әлемі қышқыл жаңбырға ұшырайды. Соңғысы тек гана ауышпаруашылығына зиян келтірін қоймай, тотығуға және құрылыс объектілерінің бүлінуіне әсер етеді.

Азот оксидін негізгі тудырушы – органикалық отынды жандыру процесі. Отын жанған кездегі олардың эмиссиясын төмендету негізгі экологиялық міндет болып табылады.

Пеште отын жанған кезде (NO) азоттың монооксидінің 95-99% және (NO_2) азоттың токсикалық диоксидінің 1-5% артығы түзіледі. Атмосферада азот диоксиді бақылаусыз түрде диоксидке айналады. Атмосфера ауасындағы азот диоксидінің үлесін есептеу үшін ЖЭС қалдықтарының газдалуын және нормалануын есептегенде шартты түрде 0,8 коэффициенті қолданылады.

Бұл жұмыс Текелі ЖЭО-2 БКЗ-75-39Ф қазандығын жөндеуге қатысты қышқылдың деңгейі төмен көмір шаңын шырағданда үнемді жағуды ұйымдастыру сұрақтарына арналған.

Поступила 16.05.2016 г.