Торайғыров университетінің хабаршысы
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайғыров университета

Торайғыров университетінің ХАБАРШЫСЫ

Энергетикалық сериясы
1997 жылдан бастап шығады

ВЕСТНИК Торайғыров университета

Энергетическая серия
Издается с 1997 года

ISSN 2710-3420

№ 3 (2021)

Павлодар

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайгыров университета

Энергетическая серия
выходит 4 раза в год

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания

№ 14310-Ж

выдано

Министерство информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность

публикация материалов в области электроэнергетики,
электротехнологии, автоматизации, автоматизированных и
информационных систем, электромеханики и теплоэнергетики

Подписной индекс – 76136

<https://doi.org/10.48081/ADSD2201>

Бас редакторы – главный редактор

Кислов А. П.

к.т.н., доцент

Заместитель главного редактора

Талипов О. М., *доктор PhD, доцент*

Ответственный секретарь

Приходько Е. В., *к.т.н., профессор*

Редакция алқасы – Редакционная коллегия

Клецель М. Я.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Новожилов А. Н.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Никитин К. И.,	<i>д.т.н., профессор (Россия)</i>
Никифоров А. С.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Новожилов Т. А.,	<i>к.т.н., доцент (Россия)</i>
Оспанова Н. Н.,	<i>к.п.н., доцент</i>
Нефтисов А. В.,	<i>доктор PhD, доцент</i>
Шокубаева З. Ж.	<i>технический редактор</i>

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели

Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов

При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник Торайгыров университета» обязательна

© Торайгыров университет

<https://doi.org/10.48081/KQKB5152>

***К. Е. Арыстанбаев, А. А. Бердалиева, А. А. Умаров**

Южно-Казахстанская медицинская академия,

Республика Казахстан, г. Шымкент

ИССЛЕДОВАНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ ТОКСИЧНЫХ КОМПОНЕНТОВ В ТОПКАХ ПАРОВЫХ КОТЛОВ ТГМЕ-464

В данной статье приведены результаты исследования образования токсичных компонентов в топках паровых котлов ТГМЕ-464. Приведено обоснование необходимости в разработке новой модели, предназначенной для измерения концентрации оксида углерода в высокотемпературных процессах горения с учетом процесса охлаждения, полученный поправочный коэффициент должен учитываться при определении концентрации оксида углерода путем отбора пробы в высокотемпературных процессах. Ввод влаги в зону горения топлива с полным основанием можно охарактеризовать как один из методов подавления процессов образования оксидов углерода и азота при сжигании топлив в топках паровых котлов. Успешное решение задачи по совершенствованию процессов сжигания природного газа и мазута в паровых котлах тепловых электростанций и котельных в экологическом аспекте базируется на оптимальном сочетании режимно-технологических методов снижения выбросов вредных веществ с дымовыми газами в атмосферу. Поэтому необходима реконструкция горелочных устройств паровых котлов, предназначенных для сжигания газа и мазута, которая позволяла бы осуществлять подвод водяного пара в процесс горения и сохраняла бы высокие технико-экономические показатели котельных установок и надежность работы энергетического оборудования с минимальными капитальными и эксплуатационными затратами на природоохранные мероприятия.

Ключевые слова: процессы горения, поправочный коэффициент, концентрация CO, оксид азота, паровой котел

Введение

В теплоэнергетике основными токсичными компонентами являются концентрации оксида углерода и азота. Окись углерода является одним из наиболее важных компонентов загрязнителей воздуха из-за ее негативного воздействия на растения, животных и людей. Выделение токсичных компонентов происходит на металлургических и химических предприятиях, предприятиях строительной индустрии, тепловых электростанций, а также на предприятиях местной и пищевой промышленности, не считая распределенных источников автомобильного, железнодорожного, авиационного и морского транспорта.

Окись углерода и азот являются продуктами сгорания органического топлива. При анализе продуктов горения отбор пробы для анализа дымовых газов происходит в более холодной зоне, в основном на выходе парового котла. Для получения полной информации о самом процессе горения необходимо знать концентрации токсичных компонентов в высокотемпературных процессах с учетом механизмов охлаждения продуктов сгорания в пробоотборных устройствах. Современные приборы для измерения концентрации токсичных компонентов в зонах горения топлива не учитывают процесс охлаждения пробы вдоль канала пробоотборного устройства. Поэтому необходима модель измерения концентрации оксида углерода в высокотемпературных процессах горения топлива.

Подача влаги в зону горения топлива существенно влияет на процессы сгорания топлива. В зависимости от способа и параметров введения влаги большое значение имеет термодинамическое и кинематическое взаимодействие паровой фазы и продуктов диссоциации, что влияет на образование вредных веществ при горении топлива. В связи с этим предложен способ подачи водяного пара через реконструированные газомазутные горелки парового котла ТГМЕ-464 непосредственно в зону горения.

Материалы и методы

Рассмотрим влияние режимных и конструктивных факторов на снижение содержания вредных веществ в продуктах сгорания природного газа и мазута в паровом котле ТГМЕ-464.

Настройка режима горения в первую очередь, предполагает подбор оптимального избытка воздуха. Так как из-за увеличения количества воздуха полнота горения увеличивается, и количество окиси углерода в дымовых газах уменьшается. Но это также увеличивает тепловые потери с дымовыми газами. Поэтому проводится ряд экспериментов по определению полноты сгорания и выбора оптимального избытка воздуха при данной нагрузке парового котла.

Проведение такой серии экспериментов с точным определением минимальных выбросов требует использования приборов для измерения токсичных компонентов в топке парового котла. Основным показателем неполного сгорания топлива в высокотемпературной зоне является концентрация оксида углерода. Методики измерения концентрации СО в высокотемпературных процессах не дают возможности найти точный диапазон значений расхода воздуха для достижения максимальной эффективности. Поэтому использование более точных устройств для определения концентрации оксида углерода позволит перевести режим работы паровых котлов в экономичный.

Существующие методы определения концентрации СО в высокотемпературных процессах не учитывают динамику изменения концентрации монооксида углерода в процессе охлаждения дымовых газов. Поэтому с учетом линейного процесса охлаждения газа в пробоотборных устройствах определение концентрации оксида углерода в высокотемпературных процессах сгорания топлива проводится в следующей последовательности [1]:

Математическое моделирование процессов образования оксидов азота и углерода при сжигании топлива в топках паровых котлов связано с численным решением уравнений, описывающих течение высокотемпературных многокомпонентных смесей с неодинаковыми физико-химическими изменениями [2]. В целом задача состоит из системы уравнений газовой динамики типа Навье-Стокса, которая включает уравнения химической кинетики и ряд вспомогательных соотношений, охватывающих эту систему. Однако такой подход должен упростить исходную концепцию задачи из-за сложности математической модели, отсутствия надежных численных методов ее решения и отсутствия соответствующих программ для ЭВМ [3].

Таким образом, можно не учитывать целый ряд физически важных факторов (кручение пламени, фазовые переходы и т. д.), которые приводят к неравномерному распределению топлива и окислителя в объеме пламени, что не влияет на результат измерения концентрации вредных компонентов. Кроме того, не учитываются вихри, образующиеся в поле, переносящем энергию от ядра пламени к его корню и длине, необходимые для расчета пламени вдоль оси потока. С учетом этих факторов необходимо сформулировать новую задачу моделирования высокотемпературных процессов дожигания токсичных компонентов. Для этого сначала рассчитываем одномерный поток с равновесными химическими реакциями, а затем поток химических реакций между компонентами газовой смеси после ввода водяного пара в высокотемпературную смесь. Учитывая несбалансированность химических реакций между компонентами газовой смеси, необходимо изучить процессы

образования токсичных компонентов при высоких температурах. В работе [4] приведены основные уравнения и алгоритмы решения этих задач.

Данный метод позволяет, во-первых, эффективно использовать расчеты горелки котла, что позволяет учесть распределение горения топлива по высоте топки [5], характер температурных полей в сечениях топки [6]. Во-вторых, провести детальное параметрическое исследование факторов, определяющих технологические процессы сжигания топлива в паровых котлах.

При моделировании процесса полного сгорания токсичных компонентов при высоких температурах предлагаем определять теоретическую температуру горения в камере сгорания ($T_{\text{нач}}$) по алгоритму [7], используя основные соотношения для теплообменных паровых котлов, так как измерения термоэлектрическими преобразователями типа ТВР-299в требуют дополнительных монтажных работ, не предусмотренных при эксплуатации паровых котлов.

Результаты и обсуждение

Задача понижения концентрации оксида углерода и азота решается для горелочных устройств сжигающих газ и мазут в топках парового котла ТГМЕ-464. Эта задача решается подачей пара в газовые горелки верхнего яруса через периферийный канал воздушного короба (рисунок 1). Выбор варианта впрыска пара в зону горения встречает наибольшие трудности при сжигании газа ввиду развитой начальной поверхности соприкосновения горючего с окислителем и менее жесткой границей раздела горючее-окислитель.

- 1 – канал для подачи газа; 2 – поток первичного воздуха;
3 – поток вторичного воздуха; 4 – канал для впрыска водяного пара;
5 – газомазутная горелка.

Рисунок 1 – Подача пара в зону горения через горелку

Исследования концентрации оксидов углерода в дымовых газах при сжигании природного газа и мазута в паровом котле ТГМЕ-464 от количества

впрыскиваемого пара в зону горения приведена на рисунке 2. Как следует из рисунка впрыск пара снижает концентрации оксида углерода во всем диапазоне исследованных режимов (кривая 2) по сравнению с исходным вариантом сжигания топлива (кривая 1).

Оригинальность предложенного способа сжигания газа и мазута состоит в том, что дозированный впрыск пара осуществляется в зону горения через периферийный канал горелочного устройства (рисунок 1) с таким условием, чтобы обеспечивалось ее проникновение по всей длине зоны с $a = 1,0-1,4$. Дозировка пара составляет около 5 % от расхода горючего.

1 – до подачи водяного пара (исходный вариант);

2 – после подачи водяного пара.

Рисунок 2 – Зависимость концентрации CO в дымовых газах котла ТГМЕ-464 от коэффициента избытка окислителя и впрыска пара при сжигании газа и мазута

Результаты экспериментальных исследований показывают, что при практической реализации предложенного способа сжигания газа и мазута в топке парового котла ТГМЕ-464, показанного на рисунке 3, достигнуто подавление образования оксида азота по сравнению с исходным (кривая 1).

Коэффициент избытка окислителя

1 – до впрыска водяного пара; 2 – после впрыска водяного пара.

Рисунок 3 – Зависимость концентрации NO в дымовых газах котла ТГМЕ-464 от коэффициента избытка окислителя и впрыска пара при сжигании газа и мазута

Всегда представляют интерес значения концентраций оксида углерода в топочных камерах, полученные непосредственно на находящихся в промышленной эксплуатации паровых котлах значения концентраций СО показаны на рисунке 4. Как видно из рисунка 4, концентрация оксида углерода полученная методом газовой хроматографии с использованием прибора «Газохром-3110» не учитывает процесс дожигания оксида углерода в охлаждаемых зонах многокомпонентных парогазовых смесей. Из рисунка видно, что например, при коэффициенте избытка окислителя равном 0,95 результатом анализа пробы, взятой при температуре 24000К со скоростью охлаждения 500 0К/с в газовом анализаторе, является заниженная величина концентрации СО на 44,5 % по сравнению с концентрацией в точке отбора, а именно в топочной камере.

- 1 – концентрация оксида углерода с учетом поправочного коэффициента;
2 – концентрация оксида углерода без учета поправочного коэффициента.

Рисунок 4 – Зависимость концентрации CO в топочной камере от коэффициента избытка окислителя и впрыска пара

Выводы

Таким образом, широко распространенные технологические методы снижения концентраций оксидов углерода (предельно низкие избытки воздуха и ступенчатое сжигание топлива) могут быть дополнены применением стандартных сопл, предназначенных для 5 % впрыска пара в зону горения через периферийный канал газомазутной горелки, с целью снижения выбросов вредных веществ с дымовыми газами,

Использование метода определения концентрации оксида углерода в высокотемпературных процессах горения [7] на Шымкентском ТЭЦ-3 позволят:

- не нарушая технологический режим работы паровых котлов подобрать оптимальное соотношение воздух-топливо на основе измерения концентрации оксида углерода в топке парового котла;
- решать задачи адаптивного регулирования процесса горения топлива путем воздействия на соотношение топливо – воздух по концентрации оксида углерода в высокотемпературных процессах горения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Арыстанбаев, К. Е., Апсеметов, А. Т.** Метод определения концентрации оксида углерода в высокотемпературных процессах горения // Автоматизация в промышленности. – № 8. – М., 2012.

2 **Пашков, Л. Т.** Математические модели процессов в паровых котлах. – Москва-Ижевск : Институт компьютерных исследований, 2002. – 208 с.

3 **Айнабеков, А. И., Сембиев, О. З., Арыстанбаев, К. Е.** Исследование течения в газовом анализаторе // Наука и образование Южного Казахстана, 2001. – № 23.

4 **Папуша, А. И., Пирумов, У. Г., Прохоров, М. Б.** Газовая динамика образования и распространения токсичных компонент // Известия АН СССР. Механика жидкости и газа. – 1981. – № 1.

5 **Валуева, Е. П., Яньков, Г. Г.** Теплообмен при движении однофазной среды. Исследования, проведенные в МЭИ // Вестн. МЭИ, 2000. – № 4.

6 **Егорова, Л. Е.** Теплообмен в электротермических и факельных печах и топках // Материалы международной научно-технической конференции. – Тверь : Тверской государственный технический университет, 2004. – 210 с.

7 **Торопов, Е. В., Лымбина, Л. Е.** Цифровая модель процессов в топке котла // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». – 2021. – Т. 21. – № 2.

8 **Кормилицын, В. Н., Бугров, В. П., Сакаров, Н. И.** Приборы и системы контроля концентраций NO, CO, CO₂ и др. газов в продуктах сгорания топлива для технико-экономического и экологического контроля // Экологические системы и приборы. – 1999. – № 6.

9 **Айнабеков, А. И., Сембиев, О. З., Арыстанбаев, К. Е.** Моделирование процесса образования токсичных компонентов в высокотемпературной газовой смеси // Тр. МНПК «Ауезовские чтения -3». – Шымкент, 2002. – Т. VIII.

10 **Сембиев, О. З., Бейсебаева, Ж. Р., Тауасаров, Б. Р., Арыстанбаев, К. Е.** Исследование влияния числа ступеней впрыска на образование токсичных компонентов в высокотемпературных процессах // Труды МНПК «Ауезовские чтения -3». – Шымкент, 2002. – Т-VIII.

REFERENCES

1 **Arystanbayev, K. Ye., Apsemetov, A. T.** Metod opredeleniya kontsentratsii oksida ugleroda v vysokotemperaturnykh protsessakh gorenija [Method for determining the concentration of carbon monoxide in high-temperature gorenje processes][Text] // Avtomatizatsiya v promyshlennosti. – № 8. – Moscow, 2012.

2 **Pashkov, L. T.** Matematicheskiye modeli protsessov v parovykh kotlakh [Mathematical models of processes in steam boilers][Text]. – Moskva-Izhevsk : Institut komp'yuternykh issledovaniy, 2002. – 208 p.

3 **Aynabekov, A. I., Sembiyev, O. Z., Arystanbayev, K. Ye.** Issledovaniye techeniya v gazovom analizatore [Investigation of the flow in a gas analyzer] [Text] // Nauka i obrazovaniye Yuzhnogo Kazakhstana, 2001. – № 23. – С. 112– 115.

4 **Papusha, A. I., Pirumov, U. G., Prokhorov, M. B.** Gazovaya dinamika obrazovaniya i rasprostraneniya toksichnykh component [Gas dynamics of the

formation and spread of toxic components][Text]. In Izvestiya AN SSSR. – Mekhanika zhidkosti i gaza. – 1981. – № 1. – P. 26–30.

5 **Valuyeva, Ye. P., Yan'kov, G. G.** Teploobmen pri dvizhenii odnofaznoy sredy. [Heat exchange during the movement of a single-phase medium] [Text]. In Issledovaniya, provedennyye v MEI // Vestn. MEI, 2000. – № 4. – P. 18–39.

6 **Yegorova, L. Ye.** Teploobmen v elektrotermicheskikh i fakel'nykh pechakh i topkakh [Heat exchange in electrothermal and flare furnaces and furnaces] [Text]. In Materialy mezhdunarodnoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii. – Tver': Tverskoy gosudarstvennyy tekhnicheskoy universitet, 2004. – 210 p.

7 **Toropov, Ye. V., Lymbina, L. Ye.** Tsifrovaya model' protsessov v topke kotla [Digital model of processes in the boiler furnace] [Text]. In Vestnik YUUrGU. Seriya «Energetika». – 2021. – T. 21. – № 2.

8 **Kormilitsyn, V. N., Bugrov, V. P., Sakarov, N. I.** Pribory i sistemy kontrolya kontsentratsiy NO, SO, SO₂ i dr. gazov v produktakh sgoraniya topliva dlya tekhniko-ekonomicheskogo i ekologicheskogo kontrolya [Devices and systems for monitoring concentrations of NO, CO, CO₂ and other gases in fuel combustion products for technical, economic and environmental control] [Text]. In Ekologicheskkiye sistemy i pribory. – 1999. – № 6.

9 **Aynabekov, A. I., Sembiyev, O. Z., Arystanbayev, K. Ye.** Modelirovaniye protsessa obrazovaniya toksichnykh komponentov v vysokotemperaturnoy gazovoy smesi [Modeling of the formation of toxic components in a high-temperature gas mixture] [Text]. In Tr. mezhdunar. nauchno–praktich. konf. «Auyezovskiye chteniya -3». – Shymkent, 2002. – T.VIII.

10 **Sembiyev, O. Z., Beysebayeva, Zh. R., Tauasarov, B. R., Arystanbayev, K. Ye.** Issledovaniye vliyaniya chisla stupeney vpryska na obrazovaniye toksichnykh komponentov v vysokotemperaturnykh protsessakh [Investigation of the effect of the number of injection stages on the formation of toxic components in high-temperature processes] [Text]. In Trudy Mezhdunarodnoy nauchno – prakticheskoy konferentsii «Auyezovskiye chteniya -3». – Shymkent, 2002. – T-VIII.

Материал поступил в редакцию 28.08.21.

*Қ. Е. Арыстанбаев, А. А. Бердалиева, А. Ә. Омаров
Оңтүстік Қазақстан медицина академиясы,
Қазақстан Республикасы, Шымкент қ.
Материал 28.08.21 баспаға түсті.

ТММЕ-464 БУ ҚАЗАНДЫҚТАРЫНЫҢ ОТТЫҚТАРЫНДА УЛЫ КОМПОНЕНТТЕРДІҢ ПАЙДА БОЛУЫН ЗЕРТТЕУ

Бұл мақалада ТММЕ-464 бу қазандықтарының оттықтарында улы компоненттердің пайда болуын зерттеу нәтижелері келтірілген. Жаңа моделін әзірлеу негіздеу қажеттігі келтірілген, бұл суыту процесі ескере отырып көміртек оксидін концентрациясын жоғары температуралы жану процестерінде өлшеуге арналған, алынған түзету коэффициент жоғары температуралы процестерде сынама арқылы алынған өнімнің көміртек оксидінің концентрациясын анықтағанда ескерілуі тиіс. Жанармайдың жану аймағына ылғалдың енгізілуін бу қазандықтарының оттықтарында отын жағу кезінде көміртегі мен азот оксидтерінің түзілу процестерін басу әдістерінің бірі ретінде сипаттауға болады. Жылу электр станцияларының және қазандықтардың бу қазандықтарында табиғи газ бен мазутты жағу процестерін жетілдіру жөніндегі міндетті экологиялық аспектіде атмосфераға түтін газдарымен зиянды заттардың шығарындыларын азайтудың режимдік-технологиялық әдістерінің оңтайлы үйлесуіне негізделеді. Сондықтан газды және мазутты жағуға арналған бу қазандықтарының оттықтарын қайта құру қажет, бұл жану процесіне бу жеткізуге мүмкіндік береді және қазандық қондырғыларының жоғары техникалық-экономикалық көрсеткіштерін және қуат жұмысының сенімділігін сақтайды. қоршаған ортаны қорғау шараларына ең аз капиталы мен пайдалану шығындары бар жабдықтар.

Кілтті сөздер: жану процесі, түзету коэффициенті, СО концентрациясы, азот оксиді, бу қазандығы.

**K. E. Arystanbaev, A. A. Berdalieva, A. A. Umarov*

South Kazakhstan Medical Academy,

Republic of Kazakhstan, Shymkent.

Material received on 28.08.21.

RESEARCH OF FORMATION OF TOXIC COMPONENTS IN FURNACES OF STEAM BOILERS TGME-464

This article presents the results of a study of the formation of toxic components in the furnaces of steam boilers TGME-464. The rationale is given for the need to develop a new model designed to measure the concentration of carbon monoxide in high-temperature combustion

processes, taking into account the cooling process, the obtained correction factor should be taken into account when determining the concentration of carbon monoxide by sampling in high-temperature processes. The introduction of moisture into the fuel combustion zone with good reason can be characterized as one of the methods for suppressing the formation of carbon and nitrogen oxides during fuel combustion in the furnaces of steam boilers. The successful solution of the problem of improving the combustion of natural gas and fuel oil in steam boilers of thermal power plants and boiler houses in the environmental aspect is based on an optimal combination of operational and technological methods to reduce emissions of harmful substances with flue gases into the atmosphere. Therefore, it is necessary to reconstruct the burners of steam boilers designed for burning gas and fuel oil, which would allow the supply of steam to the combustion process and would maintain high technical and economic indicators of boiler installations and the reliability of the operation of power equipment with minimal capital and operating costs for environmental protection measures.

Keywords: combustion processes, correction factor, CO concentration, nitrogen oxide, steam boiler.

Теруге 28.08.2021 ж. жіберілді. Басуға 11.09.2021 ж. қол қойылды.

Электрондық баспа

2,69 Mb RAM

Шартты баспа табағы 8,11. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: З. С. Исакова

Корректор: А. Р. Омарова

Тапсырыс № 3847

Сдано в набор 28.08.2021 г. Подписано в печать 11.09.2021 г.

Электронное издание

2,69 Mb RAM

Усл. печ. л. 8,11. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка: З. С. Исакова

Корректор: А. Р. Омарова

Заказ № 3847

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

«Торайғыров университет»

коммерциялық емес акционерлік қоғамы

140008, Павлодар к., Ломов к., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

«Торайғыров университет»

коммерциялық емес акционерлік қоғамы

140008, Павлодар к., Ломов к., 64, 137 каб.

8 (7182) 67-36-69

E-mail: kereku@tou.edu.kz

www.vestnik-energy.tou.edu.kz