ISSN 1819-432X print / ISSN 1993-3495 online
СУЧАСНЕ ПРОМИСЛОВЕ ТА ЦИВІЛЬНЕ БУДІВНИЦТВО
СОВРЕМЕННОЕ ПРОМЫШЛЕННОЕ И ГРАЖДАНСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО
MODERN INDUSTRIAL AND CIVIL CONSTRUCTION
ТОМ 4, N2, 2008, 77-82
УДК 697.432

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ НА ЕМІСІЮ ОКСИДІВ ВУГЛЕЦЮ ТА АЗОТУ В ПРОДУКТАХ ЗГОРЯННЯ ЖАРОГАЗОТРУБНИХ ТЕПЛОГЕНЕРАТОРІВ

О.В. Лук'янов
Донбаська національна академія будівництва і архітектури
вул. Державіна, 2, м. Макіївка, Україна, 86123.
E-mail: AV_Lykianov232@mail.ru

Отримана 8 лютого 2008; прийнята 10 квітня 2008.

Анотація. Досліджується вплив основних технологічних параметрів на енергоекологічні характеристики автономних жарогазотрубних теплогенераторів. З одного боку, необхідно розв'язати питання підвищення теплової ефективності роботи тепло- генераторів, з іншого боку, складна екологічна ситуація, що склалася в країні, має потребу в негайних рішеннях щодо обмежень викидів забруднюючих речовин в атмосферу, зокрема викидів з димовими газами теплогенераторів. Одним зі способів вирішення цих проблем є коректування організації процесів спалювання палива в теплогенераторах малої потужності. Установлено механізми та умови емісії токсичних речовин при спалюванні в топкових камерах малого об'єму природного газу. Отримано узагальнюючі рівняння залежності вмісту токсичних викидів у продуктах згоряння від факторів, що впливають.

Ключові слова: коефіцієнт надлишку повітря, викиди, жарогазотрубні теплогенератори, теплове навантаження, токсичні речовини.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА ЭМИССИЮ ОКСИДОВ УГЛЕРОДА И АЗОТА В ПРОДУКТАХ СГОРАНИЯ ЖАРОГАЗОТРУБНЫХ ТЕПЛОГЕНЕРАТОРОВ

А.В. Лукьянов
Донбасская национальная академия строительства и архитектуры
ул. Державина, 2, г. Макеевка, Украина, 86123.
E-mail: AV_Lykianov232@mail.ru

Получена 8 февраля 2008; принята 10 апреля 2008.

Аннотация. Исследуется влияние основных технологических параметров на энергоэкологические характеристики автономных жарогазотрубных теплогенераторов. С однй стороны необходимо разрешить вопрос повышения тепловой эффективности работы теплогенераторов, с другой стороны, сложная экологическая ситуация, которая сложилась в стране, нуждается в немедленных решениях относительно ограничений выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, в том числе выбросов с дымовыми газами теплогенераторов. Одним из способов решения этих проблем есть корректирование организации процессов сжигания топлива в теплогенераторах малой мощности. Установлены механизмы и условия эмиссии токсичных веществ при сжигании в топочных камерах малого объема природного газа. Получены обобщающие уравнения зависимости содержания токсичных выбросов в продуктах сгорания от влияющих факторов.

Ключевые слова: коэффициент избытка воздуха, выбросы, жарогазотрубные теплогенераторы, тепловая нагрузка, токсичные вещества.

RESEARCH OF INFLUENCING OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS ON EMISSION OF CARBON OXIDES AND NITROGEN IN THE PRODUCTS OF COMBUSTION OF AUTONOMOUS CALDRONS

A.V. Luk'janov
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture
Derzhavina str., 2, Makeyevka, Ukraine, 86123.
E-mail: AV_Lykianov232@mail.ru

Received 8 February 2008; accepted 10 April 2008.

Abstract. It is explored influence of basic technological parameters on power and ecological characteristics of autonomous caldrons. On one side it is necessary to solve the question of thermal efficiency increasing of caldrons, work on the other side, a difficult ecological situation which took place in the country needs immediate decisions as for to limitations of pollutants discharge to the atmosphere, including smokes gases of caldrons. One of methods solving of these problems solving is the organization adjustment of fuel combustion in the caldrons with small capacity. Mechanisms and emission terms of toxic substances while incinerating in the small volume fire-box chambers of natural gas. Dependences of contents of toxic discharges summarizing equalizations have been got in the products of combustion on the influencing factors.

Keywords: coefficient of surplus of air, discharge, autonomous caldrons, thermal loading toxic substances.

Формулировка проблемы

Наиболее актуальной проблемой экологической безопасности населенных пунктов является нейтрализация вредных воздействий загрязняющих веществ на окружающую среду, негативные последствия которых принимают все большие размеры, создают опасность для природной среды, приобретают международный характер и уже достигли глобальных масштабов. Основным источником загрязнения атмосферы в мировом масштабе считаются установки, сжигающие органическое топливо. Примеси в топливе, а также объединенная смесь топливо-воздух при высоких температурах горения приводят к образованию таких побочных продуктов, как оксиды азота, углерода, серы, несгоревшие углеводороды, сажа, бенз(а)пирен, значительно загрязняя атмосферу.

Анализ последних исследований и публикаций

Существующие методы снижения выхода вредных веществ с продуктами сгорания можно подразделить на первичные, реализуемые в процессе горения топлива в камере сгорания, и вторичные, проводимые после окончания горения [1, 2]. Первичные методы снижения выхода вредных веществ реализуются путем изменения технологии сжигания топлива.

Практически в продуктах сгорания при оптимальном режиме горения должно содержаться незначительное количество CO, что обусловлено диссоциацией. Концентрация CO определяется в первую очередь режимом горения. При коэффициенте избытка воздуха $\alpha = 1{,}4$ достигается наиболее низкая концентрация CO в дымовых газах. В то же время от значения коэффициента избытка воздуха зависят потери теплоты с отходящими газами q_2. Для минимизации потерь теплоты коэффициент избытка воздуха должен быть более низким. При $\alpha = 1{,}02 - 1{,}03$ достигаются наименьшие потери теплоты с отходящими газами [3].

Анализ состояния вопроса выбросов от теплогенераторов показал, что одни и те же факторы оказывают абсолютно противоположное влияние на выход с дымовыми газами вышеприведенных токсичных веществ. Поэтому возникает необходимость в определении компромиссного решения при регламентации технологических параметров топочного процесса, от которых зависят вышеупомянутые факторы [4].

Вопросу интенсивности эмиссии токсичных веществ посвящено достаточно большое количество исследований, но все они связаны с работой крупных энергетических или теплогенераторов центральных систем теплоснабжения, имеющих большие экранированные

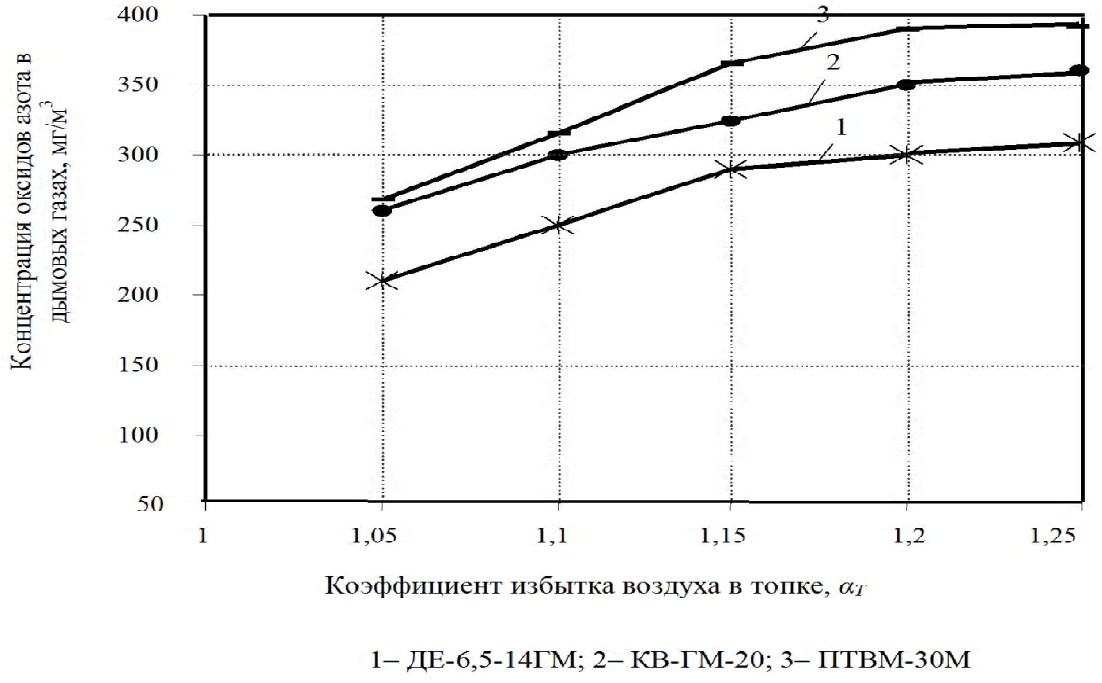


Рис. 1. Влияние коэффициента избытка воздуха в топке на образование оксидов азота.

топочные пространства. В современных теплогенераторах центральных систем теплоснабжения сжигание газообразного топлива организуется при коэффициенте избытка воздуха в топке в пределах $\alpha_т$=1,05...1,35, что обусловлено требованиями экономичности, так как при больших значениях $\alpha_т$ повышаются потери теплоты с уходящими газами, а, следовательно, уменьшается КПД установки.

На рис.1 представлена зависимость эмиссии оксидов азота от коэффициента избытка воздуха современных водогрейных экранированных котлов средней мощности КВ-ГМ-11,63-150, КВ-ГМ-23,26-150 и ПТВМ-30 [5], наиболее широко используемых в центральных системах теплоснабжения.

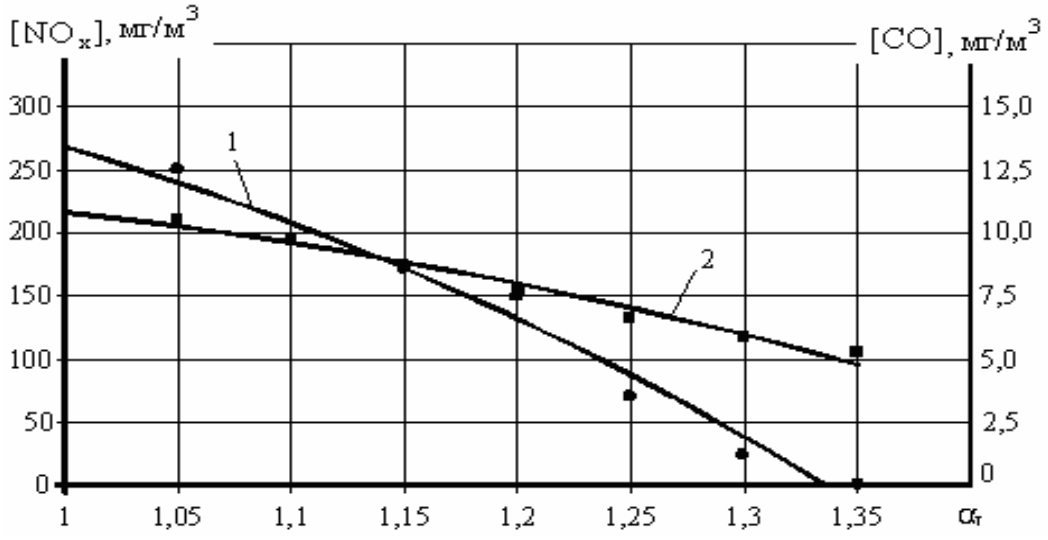
Как видно из графика, коэффициент избытка воздуха в топочном пространстве однозначно влияет на концентрацию оксидов азота в продуктах сгорания.

При увеличении $\alpha_т$ от 1,05 до 1,25 концентрация оксидов азота в продуктах сгорания увеличивается в среднем от 230 до 345 мг/м^3.Наиболее существенное повышение концентрация NO_x имеет место при изменении α от 1,05 до 1,15, что можно объяснить увеличением массового содержания азота в воздухе, подаваемого на горение через горелку в топочную камеру. Рост α свыше 1,15 ведет к уменьшению температурного уровня и как следствие к снижению интенсивности роста концентрации NO_x.

Данные исследований теплогенераторов централизованных систем теплоснабжения не могут в полной мере использоваться для определения концентраций оксидов азота в продуктах сгорания локальных теплогенераторов, топочные камеры которых представляют собой цилиндрическую трубу, так как данные топочные камеры характеризуются малым объемом и форсированным режимом протекания как теплообменных процессов, так и процессов горения топлива [6].

Цель

Целью исследований является определение влияния основных технологических параметров сжигания топлива в теплогенераторах локальных систем теплоснабжения на эмиссию вредных веществ в продукты сгорания.



1 – CO; 2 – NO_x

Рис. 2. Зависимость концентраций оксида углерода и оксидов азота в продуктах сгорания от коэффициента избытка воздуха $\pm_{т}$ при 100 %-ой нагрузке теплогенератора.

Основной материал

В соответствии с опытом эксплуатации отопительных котельных исследовали зависимость концентрации NO_x и CO от коэффициента избытка воздуха при изменении последнего в интервале от 1,05 до 1,35 в продуктах сгорания локальных теплогенераторов, топочная камера которых представляет собой жаровую трубу.

Исследования проводились в соответствии с научно-техническим направлением науки и техники Украины „Экологически чистая энергетика и энергосберегающие технологии" в рамках проектов по заданию Министерства образования и науки Украины «Разработка и усовершенствование экотехнологичесих процессов утилизации теплоты и использования нетрадиционных источников энергии», „Создание теоретических и технологических принципов разработки систем автономного теплоснабжения".

В виду того, что режим работы котлоагрегатов носит стационарный характер, т.е. режимные параметры имеют постоянную величину, которая может изменяться лишь вследствие постороннего вмешательства, то для обработки экспериментальных результатов используется полиномиальная модель многофакторного эксперимента.

На рис.2 представлена зависимость концентрации оксидов азота и углерода от коэффициента избытка воздуха при 100%-ой тепловой нагрузке, полученная по результатам экспериментов.

Влияние коэффициента избытка воздуха на концентрацию оксида углерода и оксидов азота в продуктах сгорания в соответствии с видом графиков и с учетом полиномиальной модели аппроксимируется уравнениями: (1) и (2):

– для оксида углерода при коэффициенте корреляции R = 0,94

$$[CO] = 137 - 178\alpha + 58\alpha^2; \quad (1)$$

– для оксидов азота при коэффициенте корреляции R = 0,95

$$[NO_x] = 1268 - 1507\alpha + 480\alpha^2 \quad (2)$$

Анализ графика свидетельствует о том, что при сжигании газообразного топлива в двухходовых жарогазотрубных теплогенераторах концентрация токсичных веществ в продуктах сгорания при увеличении коэффициента избытка воздуха снижается.

Снижение эмиссии NO_x при сжигании топлива в топочных камерах локальных теплогенераторов при возрастании коэффициента избытка воздуха определяется в основном снижением температуры факела (от которой она зависит по экспоненте) несмотря на возрастание концентрации кислорода (влияние которой на

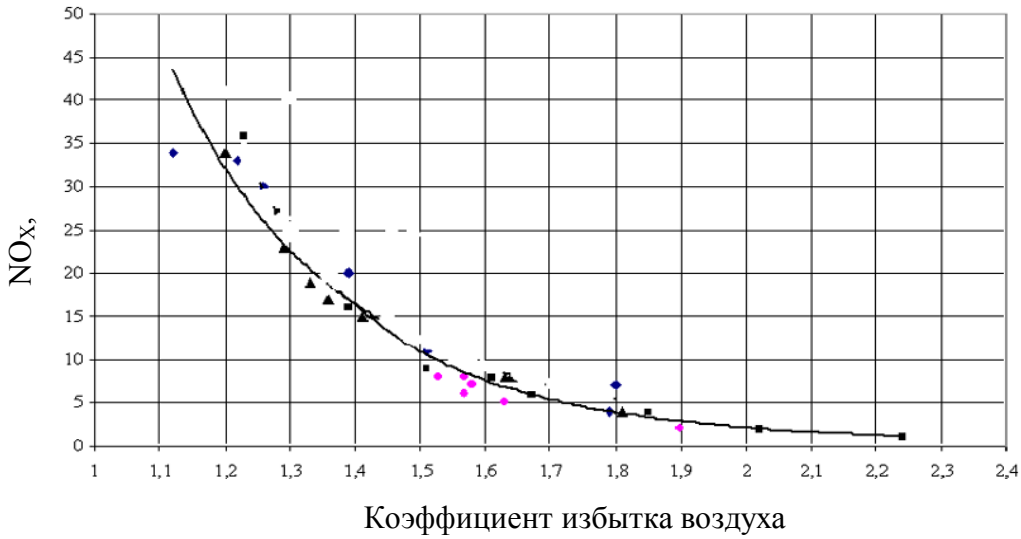


Рис. 3. Зависимость концентрации оксида азота от коэффициента избытка воздуха в продуктах сгорания при сжигании предварительно подготовленной топливовоздушной смеси.

эмиссию NO_x носит степенной характер). Резкое снижение уровня температур в топочной камере объясняется не только повышением коэффициента избытка воздуха, но и наличием внутренней рециркуляции охлажденных продуктов сгорания от задней стенки топки к зоне горения. Увеличение объема подаваемого воздуха приводит к более полному сгоранию углерода, т.е. к снижению концентрации CO.

Результаты исследований по влиянию коэффициента избытка воздуха на выход оксида азота качественно согласуются с литературными данными [7, 8]. В работе [7] авторами проведены исследования по определению зависимости концентрации оксидов азота от коэффициента избытка воздуха в продуктах сгорания при сжигании предварительно подготовленной топливовоздушной смеси в камерах сгорания газотурбинных установок (рис.3). Как видно из рис. 3. концентрация оксидов азота при сжигании предварительно подготовленной топливовоздушной смеси в камере сгорания с повышением коэффициента избытка воздуха снижается.

На основании проведенных исследований и анализа их результатов (рис. 3.4) можно сделать вывод: наиболее оптимальным режимом работы локальных теплогенераторов с цилиндрической топочной камерой является режим при коэффициенте избытка воздуха α = 1,15.

Большой интерес при эксплуатации жарогазотрубных котлов вызывает зависимость концентрации токсичных веществ от тепловой нагрузки котла, которая изменяется в соответствии с температурой наружного воздуха.

На опытно-промышленной установке были проведены исследования зависимости концентрации токсичных веществ от тепловой нагрузки теплогенератора. Обобщение экспериментальных данных показывает, что минимальная концентрация оксида углерода наблюдается при 100 %-ой нагрузке теплогенератора. Это объясняется ростом выхода гидроксила и температурного уровня в топочной камере. При одних и тех же коэффициентах избытка воздуха наименьшая концентрация оксидов азота в продуктах сгорания наблюдается при 80%-ой тепловой нагрузке жарогазотрубных теплогенераторов.

Результаты обработки данных отсеивающего эксперимента показали, что значимо влияют на выход CO и NO_x: коэффициент избытка воздуха - α (доверительная вероятность P_a=0,95); неполнота смешения газа с воздухом - s (P_a=0,95); угол установки лопаток завихрителя - φ (P_a=0,90); относительная тепловая мощность - $N=N_ф/N_н$ (P_a=0,95).

Регрессионный анализ опытных данных позволил получить математические модели влияния технологических параметров на содержание

CO и NO_x в продуктах сгорания при корреляционном отношении R_{NO_X}=0,95:

$$[CO] = 0{,}5 + 8 \cdot \bar{N} + 5 \cdot 10^{-\xi} + 2 \cdot e^{\varphi} - 58 \cdot \ln \alpha \quad (3)$$

$$[NO_X] = 0{,}5 + 224 \cdot \bar{N} + 42 \cdot 10^{-\xi} + 25 \cdot e^{\varphi} - 1507 \cdot \ln \alpha \quad (4)$$

Анализ зависимостей (3-4) показывает, что при работе теплогенераторов на номинальной мощности основными определяющими параметрами на выход оксида CO и оксидов NO_x с продуктами сгорания являются коэффициент избытка воздуха в топке, угол установки лопаток завихрителя горелки и неполнота смешения газа с воздухом: уменьшение угла установки лопаток завихрителя и повышение коэффициента избытка воздуха приводят к снижению концентрации NO_x. Значение неполноты смешения газа с воздухом должно согласовываться с увеличением длины факела, так как ухудшение степени смешивания газа с воздухом приводит к увеличению длины топочной камеры, а, следовательно, к увеличению габаритных размеров и, как следствие, к увеличению стоимости теплогенератора.

Вывод

Проведенные экспериментальные и натурные исследования по эмиссии токсичных веществ позволили рассмотреть механизмы и условия их образования при сжигании в топочных камерах жарогазотрубных теплогенераторов природного газа. Анализ результатов многофакторных экспериментов дал возможность определить основные технологические параметры, которые определяют интенсивность эмиссии токсичных веществ, к которым относятся коэффициент избытка воздуха, степень перемешивания природного газа и воздуха, тепловая мощность и турбулизация потока газовоздушной смеси в горелочном устройстве.

Литература

1. Reduzierung der NO_x-Emissionen // Umweltmagazin. - 1986. - V.16. - №4. - P.62.
2. Schneider H. Neuentwicklungen fьr atmosphdrische Brenner // Gas-Z. Wirt umweltfreundl. Energie. - anwend. - 1987. - V.38. - P.5-9.
3. Акучев С.В., Матвеев С.Г. Влияние подготовки топливно-воздушной смеси на образование углеводородов при сжигании газообразных топлив // Теплоэнергетика. – 1990. - № 6.- С. 24-26.
4. Лук'янов О.В. Токсичні викиди газотрубних теплогенераторів автономних систем теплопостачання при спалюванні газоподібного палива // Сучасне промислове і цивільне будівництво. - 2006. – Т. 2, № 1. - С. 30 -36.
5. Губарь С.А. Методы и способы повышения тепловой и экологической эффективности жаротрубных теплогенераторов малой мощности для локального теплоснабжения.// Дис. на соискание науч. степени канд. тех. наук: 05.23.03. Макеевка, 2004. – 214 с.: ил.- Библиогр. С. 150-166.
6. Лук'янов О.В. Екологічні питання використання теплогенераторів малої потужності для локальних систем теплопостачання // Інженерні системи та техногенна безпека у будівництві: Зб. наук. праць. - Макіївка, 2007.- Вип. 2007. – 2(64). – С. 26-29
7. Любов В.К., Дьячков В.А. Программно-методический комплекс для обработки результатов испытаний теплоэнергетического оборудования и расчета вредных выбросов. // Труды Второй Российской национальной конференции по теплообмену. - М.: Изд-во МЭИ, 1998. - Т.3. - С.223-228.
8. Шорин С.Н. Теплопередача. М.: Высшая школа, 1964 - 490с.

Лук'янов Олександр Васильович – д.т.н., доцент, працює завідуючим кафедрою «Теплотехніка, теплогазопостачання і вентиляція» Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: енергозберігаючі технології в системах теплопостачання, теплогенератори локальних систем теплопостачання.

Лукьянов Олександр Васильович – д.т.н., доцент, работает заведующим кафедрой «Теплотехника, теплогазоснабжения и вентиляция» Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: энергосберегающие технологии в системах теплоснабжения, теплогенераторы локальных систем теплоснабжения.

Luk'yanov Alexander Vasil'evich – doctor of technical science, associate professor, works as a head. of «Thermatecniques, thermagas suuply» chair of the Donbass National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: technology of power savings in heat supply, systems thermagenerators of local systems.