

УДК 697.34

С. П. ВЫСОЦКИЙ^а, А. В. КОНДРЫКИНСКАЯ^б^а Автомобильно-дорожный институт ДВНЗ «ДонНТУ», ^б Донбасская национальная академия строительства и архитектуры**ЭКОНОМИЯ ПРИРОДНОГО ГАЗА И ЭМИССИЯ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ ПРИ ПОДОГРЕВЕ ВОДЫ**

Приведены параметры работы конденсационных водогрейных котлов, оборудованных массо- и теплообменной насадкой и встроенной под насадкой камерой сгорания. Уменьшение времени пребывания продуктов горения топлива в зоне высоких температур до 0,3 секунды и захлаживание продуктов сгорания за счет их орошения водой после насадки обеспечивает снижение генерации оксидов азота и улучшает условия отбора тепла от продуктов сгорания топлива. Получены экспериментальные данные и аналитические уравнения, характеризующие степень генерации оксидов азота (NO_x) от времени пребывания продуктов сгорания топлива в зоне высоких температур и от избытка воздуха. Выбросы NO_x и окиси углерода при работе исследуемых котлов меньше по сравнению с международными нормами.

конденсационный котел, насадка, камера сгорания, эмиссия загрязнений, окись углерода, окислы азота

Исчерпание запасов и увеличение стоимости природного газа вызывает необходимость поиска и внедрения технических решений, которые обеспечивают снижение его потребления за счет повышения коэффициента использования топлива [1, 2]. Одним из эффективных и относительно простых решений является применение контактных экономайзеров на эксплуатируемых котлах и контактных водонагревателей в системах подогрева воды для отопления. Работа таких экономайзеров и котлов основана на использовании тепла, которое отдает водяной пар при конденсации дополнительно к обычному нагреву воды за счет теплообмена горячих дымовых газов с подогреваемой водой.

При сжигании в топках котлов природного газа по реакции: $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 = \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ на каждый м^3 сгораемого природного газа образуется 1,607 кг паров воды. При конденсации паров воды утилизируется скрытая теплота парообразования, в результате чего отбор тепла от сгораемого топлива увеличивается на 4,29 МДж/ м^3 . Вследствие этого расход природного газа сокращается на 12,8 % (при теплотворной способности природного газа 33,49 МДж/ м^3). С учетом конвективного теплообмена степень утилизации тепла дымовых газов (т. е. эффективности использования топлива) увеличивается на 15–20 % (в зависимости от температуры орошающей воды).

Следует учитывать, что степень конденсации паров воды из дымовых газов зависит от температуры точки росы, при которой начинается конденсация. Последняя существенно зависит от содержания углекислого газа в дымовых газах. На рис. 1 показана полученная нами зависимость между содержанием CO_2 и обратной величиной абсолютной температуры точки росы.

Учитывая то, что расчет КПД установок рассчитывают по низшей теплоте сгорания, в конденсационных котлах используется вся низшая теплота сгорания (100 %) плюс теплота конденсации водяного пара (8–9 %). Противоречие законам сохранения энергии устраняется, если расчет вести по высшей теплоте сгорания топлива.

Существенное упрощение технологии получения подогретой воды для отопления реализовано в котлах СВТ (рис. 2). В указанных котлах для исключения насыщения подогреваемой воды углекислым газом осуществлен двухконтурный подогрев воды: в первом контуре часть потока направляется через насадку, на которой подогревается до температуры близкой к 100 °С, а другая часть потока во втором контуре проходит по кольцевому зазору и смешивается с водой, подогретой в первом контуре в нижней части в аккумуляторном баке.

© С. П. Высоцкий, А. В. Кондрыкинская, 2013

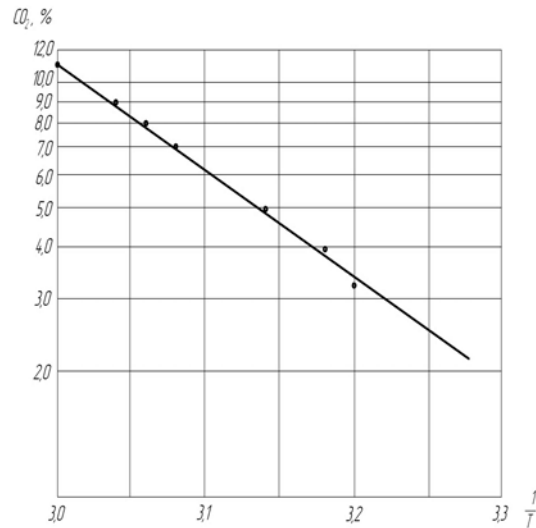


Рисунок 1 – Зависимость между содержанием CO_2 и обратной величиной абсолютной температуры точки росы.

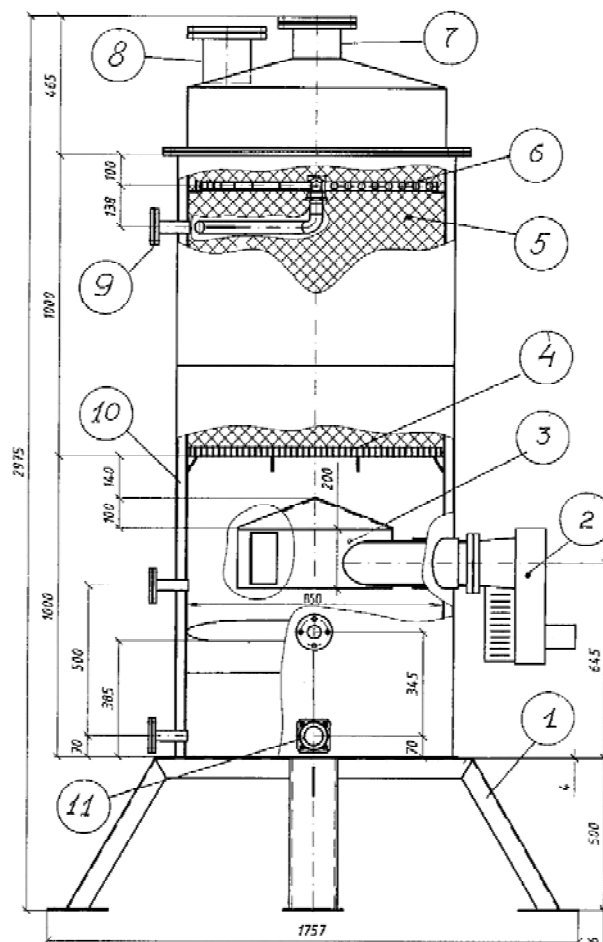


Рисунок 2 – Водогрейный котел СВТ: 1 – опора; 2 – горелочное устройство; 3 – камера сгорания; 4 – поддерживающая решетка; 5 – насадка из колец Рашига; 6 – распределительное устройство для подачи подогретой воды; 7 – штуцер отвода дымовых газов; 8 – штуцер с противозрывной мембраной; 9 – штуцер подвода подогретой воды; 10 – кольцевой зазор байпасного потока воды; 11 – штуцер отвода подогретой воды.

Регулирование температуры воды поступающей в теплосеть осуществляется за счет изменения соотношения потоков подогреваемой воды на насадке и в кольцевом зазоре. Водогрейный котел не требует установки дымососа и подготовки подпиточной воды. Подпиточная вода забирается непосредственно из водопровода.

Учитывая отсутствие шума и вибрации, котел может быть установлен на крыше зданий с обеспечением децентрализованного теплоснабжения.

Водогрейные котлы, установленные в коммунальных котельных, являются существенным источником загрязнения атмосферы в жилых зонах [3]. В [4, 5] приводятся данные, показывающие, что степень генерации NO_x зависит от температуры.

В водогрейных котлах серии СВТ за счет сокращения времени пребывания продуктов сгорания природного газа в зоне высоких температур существенно сокращается генерация оксидов азота (NO_x).

На рис. 3 показано изменение концентрации NO_x в продуктах сгорания природного газа в зависимости от времени нахождения дымовых газов в камере сгорания и избытка воздуха λ . Указанные зависимости описываются формулами:

для стехиометрического расхода воздуха ($\lambda = 1$)

$$\frac{C_0 - C}{C_0} = 0,86 \cdot \exp(-2,1\tau); \quad (1)$$

для избытка воздуха ($\lambda = 0,95$)

$$\frac{C_0 - C}{C_0} = 1,03 \cdot \exp(-10,8\tau); \quad (2)$$

где C_0 – генерация NO_x при времени контакта > 1 мин;
 C – генерация NO_x при времени контакта, τ , сек.

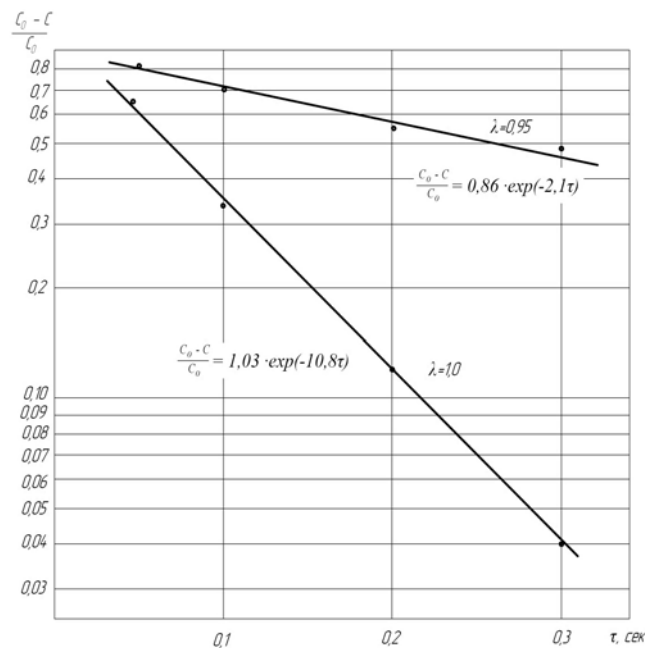


Рисунок 3 – Зависимость степени генерации NO_x от избытка воздуха « λ » и времени нахождения продуктов сгорания природного газа « τ » в зоне высоких температур.

По приведенным данным, основное влияние на эмиссию NO_x оказывает время нахождения дымовых газов в зоне высоких температур. При увеличении времени пребывания $> 0,3$ сек наиболее существенно влияние избытка воздуха (λ).

При сжигании $30 \text{ м}^3/\text{ч}$ природного газа количество испарившейся воды по тепловому балансу составит $110 \text{ кг}/\text{ч}$. Влажность газов увеличивается в 27,5 раза (с 1,83 до 50,30 %). Это, соответственно, обеспечивает увеличение коэффициента теплоотдачи от дымовых газов.

Применение водогрейных котлов серии СВТ обеспечивает существенное улучшение экологических показателей – снижение генерации оксидов углерода (CO) и оксидов азота (NO_x). Значения NO_x и CO в соответствии с нормами «Голубой ангел», Гамбургскими и данными испытаний водогрейных котлов равны, соответственно, 55 и 40; 23 и 18; 20 и 18 мг/кВт отпущенного тепла [6].

Использование контактных аппаратов, загруженных массо- и теплообменной насадкой с удельной поверхностью до $200 \text{ м}^2/\text{м}^3$, позволяет значительно интенсифицировать процессы переноса тепла и сократить расходы топлива как на существующих котельных при установке в них контактных экономайзеров, так и на вновь сооружаемых котельных при установке контактных водонагревателей серии СВТ.

ВЫВОДЫ

1. Применение конденсационных котлов обеспечивает существенное улучшение экологических и экономических показателей.
2. Показано влияние доли углекислого газа на повышение температуры точки росы. Обратная величина абсолютной температуры точки росы уменьшается пропорционально логарифму доли углекислого газа в продуктах горения топлива.
3. Определены аналитические зависимости степени снижения генерации NO_x от времени нахождения продуктов горения в зоне высоких температур и избытка воздуха.
4. При превышении времени пребывания продуктов горения в зоне высоких температур более 0,2–0,3 сек основное влияние на генерацию NO_x оказывает избыток воздуха в зоне горения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Про теплопостачання [Текст] : Закон України від 2 червня 2005 року N 2633-IV // Відомості Верховної Ради (ВВР). – 2005. – № 28. – С. 1151–1166.
2. Комунальна теплоенергетика України: стан, проблеми, шляхи модернізації [Текст] / А. А. Долінський, Б. І. Басок, Є. Т. Базєєв, І. А. Піроженко. – Київ : НАН України, 2007. – 837 с.
3. Збірник показників емісії (питомих викидів) забруднюючих речовин в атмосферне повітря різними виробництвами [Текст]. Том 1 / Український науковий центр технічної екології. – Донецьк : УкрНТІ, 2004. – 184 с.
4. Marty, Eric. Le reduction selective non catalytique des oxydes d'azote [Текст] / Eric Marty, Gerard Henri Martin // Cedi «Rene Navarre». – 1997. – ВР № 3. – РР. 4–14.
5. Kramlich, J. C. Nitrous Oxide Behaviour in the Atmosphere and in Combustion and Industrial Systems [Текст] / J. C. Kramlich, W. P. Linak // Prog. Energ. Com. Sci. – 1994. – Vol. 20. – P. 149–202.
6. Nitrogen oxides (NO_x). Why and how they are controlled [Текст] / Clean Air Technology Center. – North Carolina : [б. и.], 1999. – 46 p.

Получено 04.10.2013

С. П. ВИСОЦЬКИЙ^а, А. В. КОНДРИКІНСЬКА^б ЕКОНОМІЯ ПРИРОДНОГО ГАЗУ І ЕМІСІЯ ЗАБРУДНИКІВ ПРИ ПІДІГРІВАННІ ВОДИ

^а Автомобільно-дорожній інститут ДВНЗ «ДонНТУ», ^б Донбаська національна академія будівництва і архітектури

Наведені параметри роботи конденсаційних водогрійних котлів, обладнаних масо- та теплообмінною насадкою із вбудованою під насадкою камерою згорання. Зменшення тривалості перебування продуктів горіння палива в зоні високих температур до 0,3 сек та заохолодження продуктів за рахунок їх зрошування водою після насадки забезпечує зниження генерції оксидів азоту та покращує умови відбору тепла від продуктів згорання палива. Отримані експериментальні дані та наведені аналітичні рівняння, що характеризують ступінь генерції оксидів азоту у водогрійних котлах СВТ залежно від тривалості перебування палива в зоні високих температур та надлишку повітря. Емісія NO_x та окислу вуглецю при роботі досліджуваних котлів менша порівняно з міжнародними нормами.

конденсаційний котел, насадка, камера згорання, емісія забруднень, окис вуглецю, окисли азоту

SERGEY VYSOTSKY ^a, ANNA KONDRYKINSKAYA ^b

NATURAL GAS ECONOMY AND POLLUTANT EMISSION BY WATER HEATING

^a Automobile and Road Technical Institute DonNTU, ^b Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Condensing water-heating boilers parameters, which arranged by mass and heat-exchange Rashig rings (packing) have been given. The stay time of fuel burning products lessening in high temperature zone 0,3 sec and burning products by water dispersion cooling provides NO_x emission reduction and heat exchange improvement. Experimental data and analytical equation described NO_x generation in dependence from stay time fuel burning product in high temperature zone and air surplus have been obtained. The investigation of water-heating condensation boilers shows that NO_x and carbon oxide emission less then international indices.

condensing water-heating boilers, packing, burning furnase, pollution emission, carbon oxide, NO_x

Висоцький Сергій Павлович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри екології та безпеки життєдіяльності Автомобільно-дорожнього інституту ДВНЗ «ДонНТУ». Наукові інтереси: енергоощадження, системи очищення води, теплофікації, системи очищення газових викидів.

Кондрькинська Анна Вікторівна – магістр, асистент кафедри теплотехніки, теплогазопостачання і вентиляції Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: енергоресурсощадження.

Высоцкий Сергей Павлович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой экологии и безопасности жизнедеятельности Автомобильно-дорожного института ДВУЗ «ДонНТУ». Научные интересы: энергосбережения, системы очистки воды, теплофикации, системы очистки газовых выбросов.

Кондрькинская Анна Викторовна – магистр, ассистент кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: энергоресурсосбережение.

Vysotsky Sergey – DSc (Eng.), Professor, the Head of Ecology and Emergency management Department, Automobile and Road Technical Institute DonNTU. Scientific interests: energy-savings, water purification system, industrial heating, pollution abatement system.

Kondrykinskaya Anna – a master's degree, graduate student, Heating Engineering, Heat and Gas Supply and Ventilation Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: energy-savings.