



ISSN 1819-432X print / ISSN 1993-3495 online

СУЧАСНЕ ПРОМИСЛОВЕ ТА ЦИВІЛЬНЕ БУДІВНИЦТВО  
СОВРЕМЕННОЕ ПРОМЫШЛЕННОЕ И ГРАЖДАНСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО  
MODERN INDUSTRIAL AND CIVIL CONSTRUCTION

2014, ТОМ 10, НОМЕР 1, 23–31

УДК 697.34+У300-87

## ВИБІР ШЛЯХІВ ЕКОНОМІЇ ПАЛИВА І ПОЛІПШЕННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ В СИСТЕМАХ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ

**А. В. Кондрюкінська**

*Донбаська національна академія будівництва і архітектури,  
2, вул. Державіна, м. Макіївка, Донецька область, Україна, 86123.*

*E-mail: A.Kondrykinskaia@gmail.com*

*Отримана 22 січня 2014; прийнята 28 березня 2014.*

**Анотація.** Обґрунтовано підвищення ККД генерації теплової енергії за рахунок використання водогрійних котлів з прямим контактом продуктів згорання палива з циркуляційною водою на масо- і теплообмінній насадці. 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 генерації оксидів азоту та покращує умови відбору тепла від продуктів згорання палива. Конденсація водяної пари на теплообмінній насадці досліджуваного конденсаційного котла збільшує коефіцієнт тепловіддачі від продуктів згорання палива більш ніж в 15 разів. Визначені аналітичні залежності міри зниження генерації  $\text{NO}_x$  від часу знаходження продуктів горіння в зоні високих температур і надлишку повітря. Емісія  $\text{NO}_x$  та окислу вуглецю при роботі досліджуваних котлів менша порівняно з міжнародними нормами.

**Ключові слова:** конденсаційний котел, насадка, камера згорання, емісія забруднень, окис вуглецю, окисли азоту.

## ВЫБОР ПУТЕЙ ЭКОНОМИИ ТОПЛИВА И УЛУЧШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ В СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

**А. В. Кондрюкинская**

*Донбасская национальная академия строительства и архитектуры,  
2, ул. Державина, г. Макеевка, Донецкая область, Украина, 86123.*

*E-mail: A.Kondrykinskaia@gmail.com*

*Получена 22 января 2014; принята 28 марта 2014.*

**Аннотация.** В статье обосновано повышение КПД генерации тепловой энергии за счет использования водогрейных котлов с прямым контактом продуктов сгорания топлива с циркуляционной водой на массо- и теплообменной насадке. 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. Конденсация паров воды на теплообменной насадке исследуемого конденсационного котла увеличивает коэффициент теплоотдачи от продуктов сгорания топлива более чем в 15 раз. Определены аналитические зависимости степени снижения генерации  $\text{NO}_x$  от времени нахождения продуктов горения в зоне высоких температур и избытка воздуха. Выбросы  $\text{NO}_x$  и окиси углерода при работе исследуемых котлов меньше по сравнению с международными нормами.

**Ключевые слова:** конденсационный котел, насадка, камера сгорания, эмиссия загрязнений, окись углерода, окислы азота.

## A CHOICE OF WAYS OF ECONOMY OF FUEL AND IMPROVEMENT OF ECOLOGICAL INDEXES ARE IN THE SYSTEMS OF HEATING

Anna Kondrykinskaya

*Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,*

*2, Derzhavina Str., Makiyivka, Donetsk Region, Ukraine, 86123.*

*E-mail: A.Kondrykinskaia@gmail.com*

*Received 22 January 2014; accepted 28 March 2014.*

**Abstract.** Efficiency increase of heat energy generation by means of water heating boilers use with direct contact of flue gas and circulating heated water on mass and heat exchange bearer is grounded. The stay time of fuel burning products lessening in high temperature zone 0,3 sec and burning products by water dispersion cooling provides  $\text{NO}_x$  emission reduction and heat exchange improvement. Condensation of steams of water on heat-exchange attachment of the probed condensation caldron increases the coefficient of heat emission from the products of combustion of fuel more than in 15 times. Analytical dependence degree of lowering  $\text{NO}_x$  generation on the time the products of combustion in high temperature zone and excess air are defined. The investigation of water-heating condensation boilers shows that  $\text{NO}_x$  and carbon oxide emission less then international indices.

**Keywords:** condensing water-heating boilers, packing, burning furnase, pollution emission, carbon oxide,  $\text{NO}_x$ .

### Введение

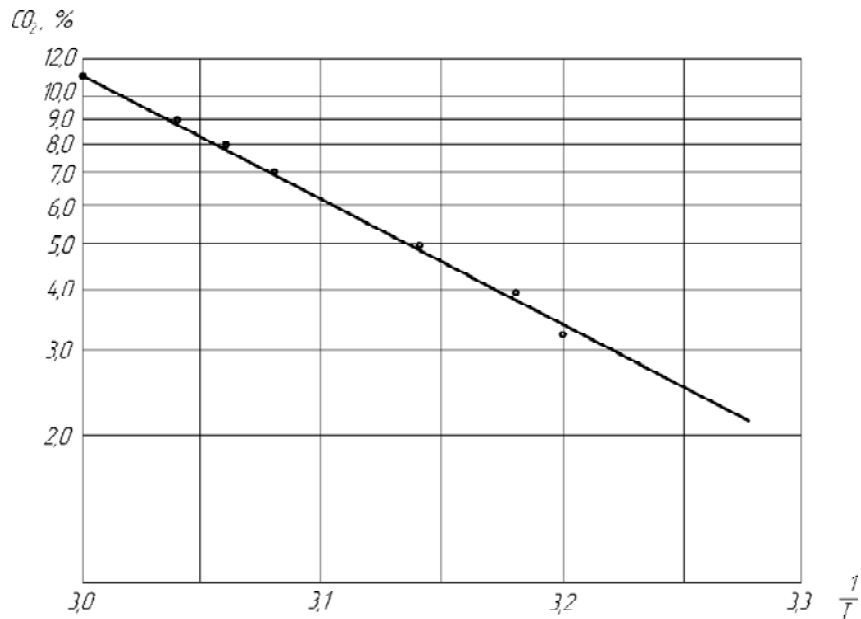
В отечественной практике в системах коммунального хозяйства и промышленности большое значение имеет экономия энергоносителей [1, 2]. Эффективными решениями является децентрализация теплоснабжения с использованием конденсационных котлов, а также применение контактных экономайзеров на существующих промышленных котельных [3]. Работа экономайзеров и конденсационных 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 [4].

### Изложение материала исследований

В теплотехнических устройствах коэффициент полезного действия определяется как отношение полезной теплоты, реализуемой, например, для отопления и горячего водоснабжения, и теплоты сгорания (количества тепла, образующегося при полном сгорании топлива и последующем охлаждении продуктов сгорания до стандартных условий ( $0^\circ\text{C}$ , 700 мм рт. ст.)). При сжигании органического топлива различают высшую и низшую теплоту сгорания. Высшая теплота сгорания определяется как низшая теплота сгорания топлива плюс теплота конденсации [5].

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  $\text{м}^3$  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/ $\text{м}^3$ . Вследствие этого расход природного газа сокращается на 12,8% (при теплотворной способности природного газа 33,49 МДж/ $\text{м}^3$ ). С учетом конвективного теплообмена степень утилизации тепла дымовых газов (т. е. эффективности использования топлива) увеличивается на 15–20% (в зависимости от температуры орошающей воды) [6].

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  $\text{CO}_2$  и обратной величиной абсолютной температуры. Учитывая то, что расчет КПД установок рассчитывают по нижней 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.



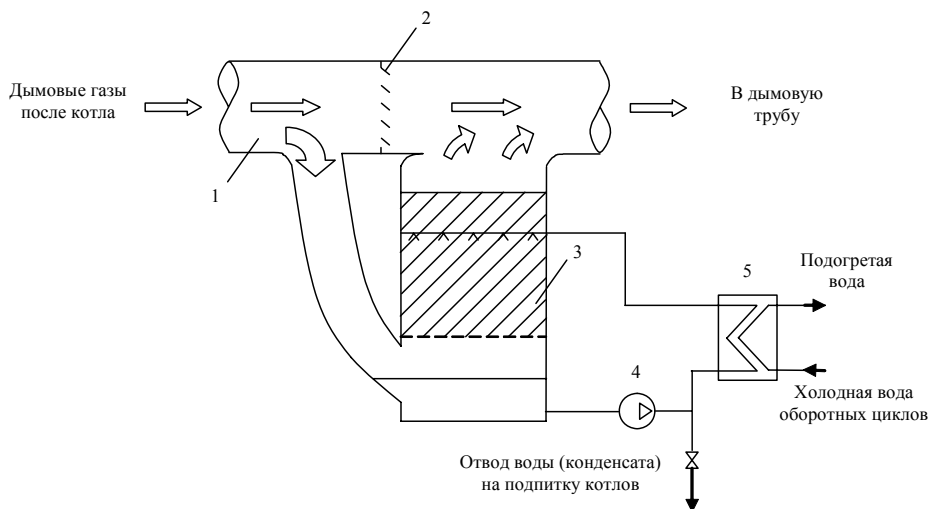
**Рисунок 1.** Зависимость между содержанием  $CO_2$  и обратной величиной абсолютной температуры точки росы.

При использовании контактного экономайзера для подогрева воды, используемой в технологических целях, схема его включения показана на рис. 2.

Часть потока дымовых газов после котлов направляется в нижнюю часть скруббера, орошаемого водой после промежуточного подогревателя. В ряде случаев, например, при подаче подогретой воды на водоподготовительную установку, последний может быть исключен из схемы утилизации тепла.

В этом случае орошение скруббера (контактного экономайзера) осуществляется непосредственно технической водой. При этом за счет нейтрализации части щелочности воды происходит дополнительное улавливание оксидов азота, а также происходит разбавление технической воды дистиллатом.

Контактный теплоутилизатор располагается на всасывающей стороне дымососа, что позволяет практически сохранить уровень потребления энергии электромотором дымососа. Часть



**Рисунок 2.** Схема утилизации тепла дымовых газов при сжигании в котлах природного газа: 1 – дымоход; 2 – шибер; 3 – контактный экономайзер; 4 – циркуляционный насос; 5 – поверхностный подогреватель.

продуктов сгорания по байпасному газоходу (на рисунке не показаны) пропускается мимо контактного утилизатора тепла для повышения температуры газов выше температуры точки росы примерно на  $15^{\circ}\text{C}$ . Это обеспечивает отсутствие конденсации влаги в дымовой трубе и защите дымососа от коррозии. Обессоленная и декарбонизированная вода, полученная в виде дебалансового потока, после контактного воздухоподогревателя может быть использована как для подпитки котла, так и для технологических целей.

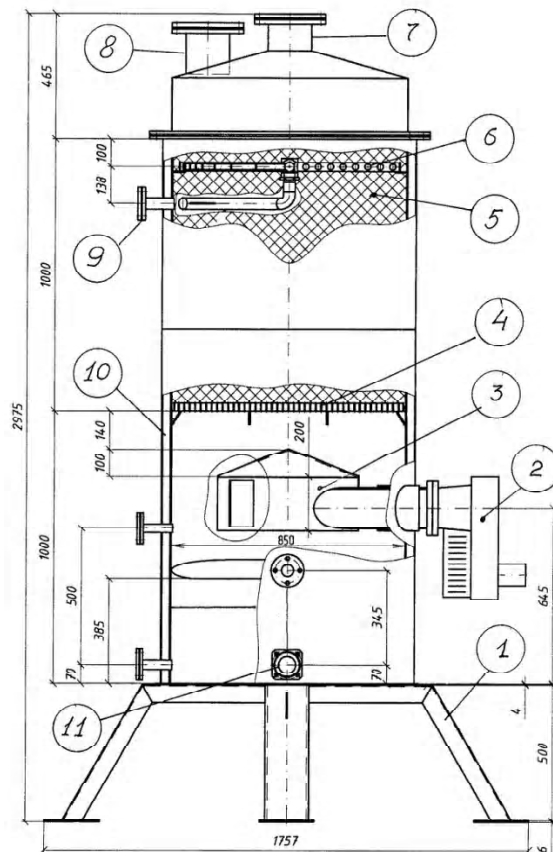
Утилизация тепла с использованием контактных экономайзеров реализуется с помощью тепломассообменного модуля смешивающего типа, в котором осуществляется передача тепла уходящих газов и конденсация содержащихся в уходящих газах паров воды, тепло которых передается циркулирующей через модуль воде. В верхней части модуля на расстоянии 250 мм от верхней его границы устанавливается распределитель орошающей воды. Верхняя часть модуля выполняет функции брызгоуловителя. Общая высота модуля составляет 1 700–2 000 мм. Сечение модуля зависит от мощности котлоагрегата и рассчитывается отдельно. При тепловой мощности котельной установки 250 кВт (220 Мкал) контактный воздухоподогреватель представляет в плане короб, сечением  $1\text{ м}^2$ . Сопротивление воздухоподогревателя составляет 40 мм в. ст. Из-за незначительного увеличения сопротивления воздушного тракта отсутствует необходимость установки дополнительных или замены существующих дутьевых вентиляторов. При установке контактного экономайзера на выхлопе дизельных двигателей для исключения возможного снижения мощности двигателя глушитель отсоединяется от двигателя, а подвод газов осуществляется непосредственно к контактному экономайзеру.

Расположение двух аппаратов (КВП и КТУ) в одном корпусе один над другим упрощает работу циркуляционного контура и снижает потребность в площадях для установки теплообменников, что особенно важно в условиях стесненной компоновки современных котельных. В схеме установки исключен декарбонизатор, так как декарбонизация воды происходит в КВП при непосредственном контакте с дутьевым воздухом [7].

Наличие промежуточного теплообменника обеспечивает высокое качество нагреваемой воды внешних потребителей и подачу ее потребителям без разрыва струи. Количество выделяющегося из продуктов сгорания в КТУ конденсата обычно превышает потребление воды в КВП для увлажнения дутьевого воздуха.

Существенное упрощение технологии получения подогретой воды для отопления реализовано в котлах СВТ (рис. 3).

В указанных котлах для исключения насыщения подогреваемой воды углекислым газом осуществлен двухконтурный подогрев воды: в первом



**Рисунок 3.** 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.

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.

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 дымохода 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 [8]. В [9, 10] приводятся данные, показывающие, что степень генерации NO<sub>x</sub> 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<sub>x</sub>) [11].

На рис. 4 показано изменение концентрации NO<sub>x</sub> 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 (λ=1)

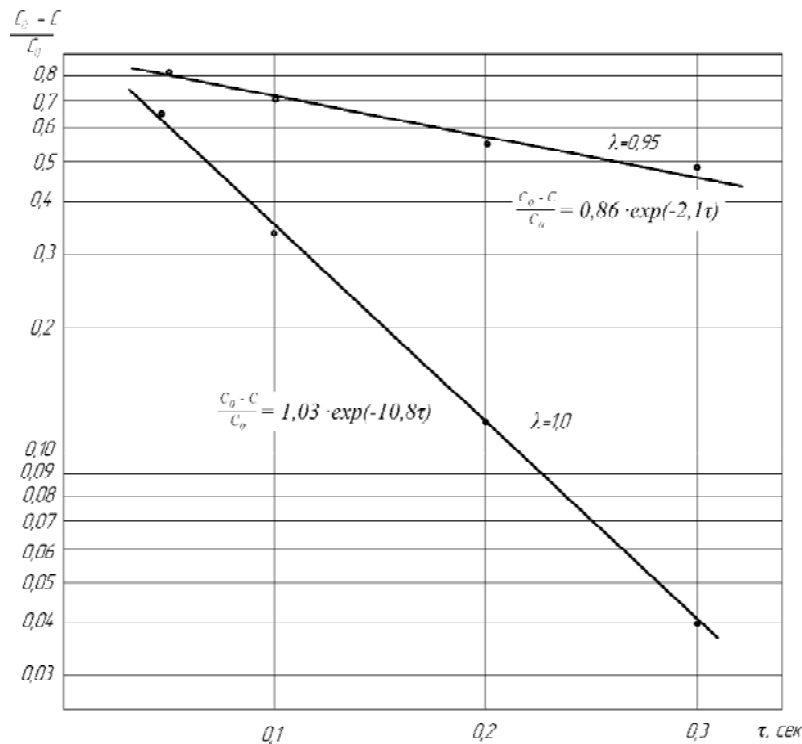
$$\frac{C_0 - C}{C_0} = 0,86 \cdot \exp(-2,1\tau), \quad (1)$$

– для избытка воздуха (λ= 0,95)

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

где C<sub>0</sub> – генерация NO<sub>x</sub> при времени контакта больше 1 мин;

C – генерация NO<sub>x</sub> при времени контакта, τ, сек.



**Рисунок 4.** Зависимость степени генерации NO<sub>x</sub> от избытка воздуха «λ» и времени нахождения продуктов сгорания природного газа «τ» в зоне высоких температур.

По приведенным данным основное влияние на эмиссию  $\text{NO}_x$  оказывает время нахождения дымовых газов в зоне высоких температур. При увеличении времени пребывания  $> 0,3$  сек наиболее существенно влияние избытка воздуха ( $\lambda$ ) [12].

Теплоемкость компонентов дымовых газов при температурах 2000 и 1000 °C представлена в таблице.

Объем компонентов в продуктах сгорания природного газа при теоретическом количестве воздуха  $V^0 = 9,81 \text{ нм}^3/\text{нм}^3$ , определяют по известным формулам [13].

Объем азота

$$V_{N_2} = 0,79 \cdot V_0 + \frac{N_2}{100} = \\ = 0,79 \cdot 8,83 + \frac{9,3}{100} = 7,07 \text{ нм}^3 / \text{нм}^3. \quad (3)$$

Объем трехатомных газов

$$V_{R_2O} = 0,01 \cdot (0,3 + 88 + \\ + 2 \cdot 1,9 + 3 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,3) = 0,94 \text{ нм}^3 / \text{нм}^3.$$

Теоретический объем водяных паров

$$V_{H_2O}^0 = 0,01 \cdot (2 \cdot 88 + 0,124 \cdot 10,06 + \\ + 1,9 + 1,5 \cdot 0,2 + 2 \cdot 0,3) = 1,8 \text{ нм}^3 / \text{нм}^3.$$

Доля каждого газа в смеси дымовых газов

$$N_2 = \frac{7,07}{7,07 + 0,94 + 1,8} = 0,721,$$

$$CO_2 = \frac{0,94}{9,81} = 0,096,$$

$$H_2O = \frac{1,8}{9,81} = 0,183.$$

Теплоемкость газов при 2000 °C

$$\bar{C} = 1,48 \cdot 0,721 + 2,44 \cdot 0,096 + \\ + 1,96 \cdot 0,183 = 1,66, \text{ кДж} / \text{нм}^3 \cdot \text{°C}.$$

Теплоемкость газов при температуре 1000 °C с учетом испарения части воды:

$$\bar{C} = \frac{7,07 \cdot 1,39}{9,81 + 1,725q} + \frac{0,94 \cdot 2,21}{9,81 + 1,725q} + \\ + \frac{(1,8 + 1,725q) \cdot 1,72}{9,81 + 1,725q}, \text{ кДж} / \text{нм}^3 \cdot \text{°C}. \quad (4)$$

Тепловой баланс над камерой горения (под распределительной решеткой)

$$V_z \cdot C_T \cdot t_z - V_{0z} \cdot C_{0T} \cdot t_{0z} = q \cdot r, \quad (5)$$

$$9,81 \cdot 1,66 \cdot 2000 - (9,81 + 1,725q) \times \\ \times \left[ \frac{7,07 \cdot 1,39}{9,81 + 1,725q} + \frac{0,94 \cdot 2,21}{9,81 + 1,725q} + \right. \\ \left. + \frac{(1,8 + 1,725q) \cdot 1,72}{9,81 + 1,725q} \right] \cdot 1000 = q \cdot 540,$$

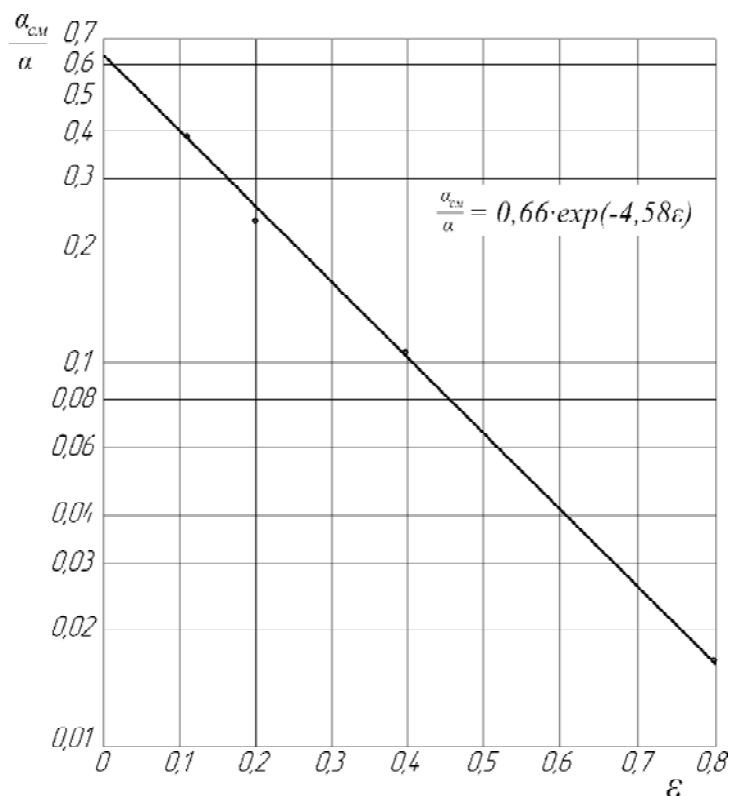
$$17568,3 = 3507 \cdot q, \\ q = 5,009 \text{ кг} / \text{нм}^3.$$

При сжигании 30 м<sup>3</sup>/ч природного газа количество испарившейся воды по тепловому балансу составит 150 кг/ч. Влажность газов увеличивается в 3,1 раза (с 18,3 до 56,6 %) [14].

Конденсация паров воды увеличивает коэффициент теплоотдачи от продуктов горения углеродного газа. При этом коэффициент теплоотдачи увеличивается пропорционально доли паров воды более чем в 15,6 раз. На рис. 5 показано влияние доли неконденсирующихся газов «ε» на соотношение коэффициента теплоотдачи смеси паров воды с неконденсирующимися продуктами горения « $\alpha_{см}$ » к коэффициенту теплоотдачи паров воды «α». Аналитическая зависимость, описывающая в пределах уменьшения доли неконденсирующихся газов от 0,1 до 0,8 с коэффициентом корреляции  $R_2 > 0,98$ , описывается уравнением:

**Таблица.** Теплоемкость компонентов дымовых газов

Компонента Температура, °C	Теплоемкость, кДж/нм <sup>3</sup> , °C			
	N <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	O <sub>2</sub>
2 000	1,48	2,44	1,96	1,57
1 000	1,39	2,21	1,72	1,48



**Рисунок 5.** Зависимость отношения коэффициентов теплоотдачи смеси неконденсирующихся газов и паров воды и коэффициента теплоотдачи паров воды от доли неконденсирующихся газов.

$$\frac{\alpha_{см}}{\alpha} = 0,66 \cdot \exp(-4,58\varepsilon). \quad (6)$$

Зависимость получена путем обработки экспериментальных данных, полученных в работе [15].

Применение водогрейных котлов серии СВТ обеспечивает существенное улучшение экологических показателей – снижение генерации оксидов углерода (СО) и оксидов азота (NO<sub>x</sub>). Значения NO<sub>x</sub> и СО 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 [16].

Использование контактных аппаратов, загруженных массо- и теплообменной насадкой с удельной поверхностью до 200 м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup> 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.

### Заключение

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<sub>x</sub> 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 с основное влияние на генерацию NO<sub>x</sub> оказывает избыток воздуха в зоне горения.

## Литература

1. Про теплопостачання [Текст] : Закон України від 2 червня 2005 року N 2633-IV // Відомості Верховної Ради. – 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. Современное состояние и перспективы развития биоэнергетики в Украине [Текст] / Г. Г. Гелетуха, Т. А. Железная, Н. М. Жовмир, Ю. Б. Матвеев // Промышленная теплотехника. – 2005. – Том 27, № 1. – С. 78–85.
4. Контроль теплопотерь на участках теплотрасс [Текст] / Т. Г. Грищенко, Л. И. Воробьева, Л. В. Дедуша [и др.] // Энергетика и электрификация. – 2000. – № 8. – С. 44–48.
5. Дубовик, В. Производство тепла сегодня и завтра [Текст] / В. Дубовик // Энергетическая политика Украины. – 2005. – № 10. – С. 84–89.
6. Любчик, Г. М. Теплоенергетичні установки та екологічні аспекти виробництва енергії [Текст] / Г. М. Любчик, Г. Б. Варламов, В. А. Маляренко. – К. : ІВЦ «Політехніка», 2003. – 232 с.
7. Бессараб, А. С. Оптимизация утилизационных теплообменных аппаратов [Текст] / А. С. Бессараб, А. А. Долинский, Б. Х. Драганов // Промышленная теплотехника. – 2004. – Том 26, № 1. – С. 32–37.
8. Збірник показників емісії (питомих викидів) забруднюючих речовин в атмосферне повітря різними виробництвами [Текст]. Том 1 / Український науковий центр технічної екології. – Донецьк : УкрНТИ, 2004. – 184 с.
9. Marty, Eric. Le reduction selective non catalytique des oxydes d'azote [Текст] / Eric Marty, Gerard Henri Martin // Cedi «Rene Navarre». – 1997. – ВР № 3. – Р. 4–14.
10. 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. – Р. 149–202.
11. Сигал, И. Я. Защита воздушного бассейна при сжигании топлива [Текст] / И. Я. Сигал. – М. : Недра, 1988. – 312 с.
12. Приборы для теплофизических измерений [Текст] : Каталог / Институт технической теплофизики АН УССР. – Киев : ИТТФ АН УССР, 1986. – 73 с.
13. Теплотехнический справочник [Текст]. Т. 1 / Под общ. редакцией С. Г. Герасимова, Я. А. Качана, П. Д. Лебедева [и др.]. – М.-Л. : Госэнергоиздат, 1957. – 728 с.
14. Левеншиль, О. Инженерное оформление химических процессов [Текст] / О. Левеншиль. – М. : Химия, 1969. – 624 с.
15. Повышение эффективности промышленных газомазутных котлов [Текст] / В. Е. Туз, Я. Е. Трокоз,

## References

1. Law of Ukraine No. 2633-IV dated back to June, 2, 2005 «About heat supply system». In: *Register of the Parliament of Ukraine*, 2005, Number 28, p. 1151–1166. (in Ukrainian)
2. Dolinskii, A. A.; Basok, B. I.; Bazeev, E. T.; Pirozhenko, I. A. Municipal heat-power engineering of Ukraine. Kyiv: National Academy of Sciences of Ukraine, 2007. 837 p. (in Ukrainian)
3. Geletuha, G. G.; Zheleznaia, T. A.; Zhovmir, N. M.; Matveev, Yu. B. Actual status and development prospects of bio power in Ukraine. In: *Heat-process engineering*, 2005, Volume 27, Number 1, p. 78–85. (in Russian)
4. Gritsenko, T. G.; Vorobeva, L. I.; Dekusha, L. V. [et al.] Control of heat loss in the lot of heat transport system. In: *Power and electrification*, 2000, Number 8, p. 44–48. (in Russian)
5. Dubovik, V. Heat production the present day and next day. In: *Energy policy of Ukraine*, 2005, Number 10, p. 84–89. (in Russian)
6. Liubchik, G. M.; Varlamov, G. B.; Maliarenko, V. A. Heat and power installation and ecological aspects of power generation. Kyiv: IVTs «Politekhnik», 2003. 232 p. (in Ukrainian)
7. Besarab, A. S.; Dolinskii, A. A.; Draganov, B. H. Optimization of rendering heat-exchange apparatus. In: *Heat-process engineering*, 2004, Volume 26, Number 1, p. 32–37. (in Russian)
8. Ukrainian Scientific center of technological ecology. Collection of factors of emission of air contaminant by different production. Volume 1. Donetsk: UkrNTI, 2004. 184 p. (in Ukrainian)
9. Marty, Eric; Martin, Gerard Henri. Le reduction selective non catalytique des oxydes d'azote. In: *Cedi «Rene Navarre»*, 1997, BP № 3, p. 4–14.
10. Kramlich, J. C.; Linak, W. P. Nitrous Oxide Behaviour in the Atmosphere and in Combustion and Industrial Systems. In: *Prog. Energ. Com. Sci.*, 1994, Vol. 20, p. 149–202.
11. Sigal, I. Ya. Protection of air basin in the process of fuel consumption. Moscow: Nedra, 1988. 312 p. (in Russian)
12. Indicators for thermo physical measuring operation. Kyiv: ITTF AN USSR, 1986. 73 p. (in Russian)
13. Gerasimova, S. G. (Ed.); Kachana, Ya. A. (Ed.); Lebedeva, P. D. (Ed.) et al. Heat engineering reference book. Volume 1. Moscow-Leningrad: Gosenergoizdat, 1957. 728 p. (in Russian)
14. Levenshpil, O. Engineering design of chemical behavior. Moscow: Chemistry, 1969. 624 p. (in Russian)
15. Tuz, V. E.; Trokoz, Ya. E.; Leontev, G. G.; Lebed, N. L. Efficiency upgrading of industrial gas-and-oil-fired boiler. In: *Problems of total power engineer*, 2011, Issue 4, p. 24–27. (in Russian)
16. Clean Air Technology Center. Nitrogen oxides (NO<sub>x</sub>). Why and how they are controlled. North Carolina: [s. n.], 1999. 46 p.



Г. Г. Леонтьев, Н. Л. Лебедь // Проблемы загальної енергетики. — 2011. — Вип. 4. — С. 24–27.

16. Nitrogen oxides (NO<sub>x</sub>). Why and how they are controlled [Текст] / Clean Air Technology Center. — North Carolina: [s. n.], 1999. — 46 p.

**Кондрикінська Анна Вікторівна** — асистент кафедри теплотехніки, теплогазопостачання і вентиляції Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: енергоресурсозбереження в системах теплопостачання.

**Кондрыкинская Анна Викторовна** — ассистент кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: энергоресурсосбережение в системах теплоснабжения.

**Kondrykinskaya Anna** — assistant of the department «Heat, Gas Supply and Ventilation» Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: energy-savings.