

А. В. ЕФИМОВ, А. Л. ГОНЧАРЕНКО

ПОВЫШЕНИЕ ЭКОНОМИЧНОСТИ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОУТИЛИЗАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ КОНДЕНСАЦИОННОГО ТИПА ПУТЕМ ВВОДА ВЛАГИ В ТОПКУ КОТЛА

АННОТАЦИЯ С целью повышения экономичности и экологических показателей системы для глубокой утилизации теплоты уходящих газов котельного агрегата небольшой паропроизводительности предложено осуществить ввод влаги в топку котла. С помощью компьютерной программы выполнено расчетное исследование по оценке влияния этой технологии на технико-экономические, теплотехнические и конструктивные характеристики теплоутилизационной системы и ее элементов. Осуществлена оценка воздействия впрыска влаги на степень снижения выбросов оксидов азота в окружающую среду. Показано, что предлагаемая технология является достаточно эффективной: при вводе 10 % влаги в зону горения топлива КПД системы повышается на 1,1 %, а концентрация оксидов азота в продуктах сгорания топлива уменьшается на 25 %.

Ключевые слова: система глубокой утилизации теплоты, ввод влаги, топка котла, коэффициент полезного действия, расход воды, расход конденсата, площадь поверхности теплообмена, концентрация оксидов азота.

A. V. YEFIMOV, A. L. GONCHARENKO

INCREASING THE EFFECTIVENESS AND THE ECOLOGIC EFFICIENCY OF THE HEAT RECOVERY SYSTEM OF A CONDENSATION TYPE BY INJECTING MOISTURE INTO THE BOILER FURNACE

ABSTRACT To increase the effectiveness and ecological indices of the system used for the deep recovery of the heat of exhaust gases of the boiler unit with a low steam capacity we proposed to inject moisture into the boiler furnace. This technology is relatively inexpensive, because the pipelines of a large diameter are not required. This technology can be highly efficient for the systems of a condensation type, because the heat loss with exhaust gasses is not increased in them. Due to an increase in the amount of heat released during the condensation of excess water steam added by gasses escaping from the boiler the efficiency factor of the system or the flow rate of heated up water and condensate can also be increased. This fact is proved by the computational investigation carried out to estimate the effect of this technology on engineering and economical performances and also on heat-engineering and structural characteristics of the heat recovery system and its elements using the computer program. The injection of 10 % of the moisture into the fuel burning zone results in the increase of the efficiency factor of the system by 1.1 % and the flow rate of the water heated for the hot water supply system is increased by 0.0679 kg/s (244 kg/h) and the condensate flow rate is increased by 0,00405 kg/s (14,6 kg/h). The temperature of heated water is increased by 1.9 °C. The estimation of the influence of the injected moisture on the level of a decrease in the emission of nitrogen oxides into the environment done using the well-known methods showed that the proposed technology is also rather efficient from the standpoint of improved ecological indices, in particular the nitrogen oxide concentration in fuel burning products has decreased by 25% with the injection of 10% of the moisture into the combustion zone.

Key words: deep heat recovery system, moisture injection, boiler furnace, efficiency factor, heated water flow rate, condensate flow rate, heat exchange surface area, and the nitrogen oxide concentration.

Постановка проблемы в общем виде

Повышение энергоэффективности котельных установок малой и средней мощности, работающих на газообразном топливе в отраслях промышленной и коммунальной теплоэнергетики Украины в условиях дефицита и дороговизны природного газа и мазута, а также неудовлетворительного технического состояния оборудования, эксплуатируемого с низкими значениями КПД [1], в настоящее время является актуальной задачей.

Одним из эффективных путей решения этой задачи, как свидетельствуют многочисленные исследования [2–4], является разработка технологий глубокой утилизации теплоты уходящих из котлов газов с конденсацией водяного пара из них. Внедрение таких технологий позволяет существенно (на 10–15 %) обеспечить экономию природного газа, а также улучшить экологические показатели

за счет снижения выбросов в окружающую среду теплоты, оксидов азота и углекислоты.

В работе [5] была предложена такая теплоутилизационная технология в виде системы замкнутого типа «котел–КВП–КТА» на базе парового котла Е-1,0-09 ГЗ. Конденсационный воздухоподогреватель (КВП) представляет собой регенеративный теплообменный аппарат вращающегося типа с промежуточным шарообразным теплоносителем, КТА (конденсационный теплообменный аппарат) рекуперативного типа, предназначенный для нагрева сетевой воды системы горячего водоснабжения.

На основе математической модели утилизационной системы и ее элементов нами была разработана компьютерная программа, краткое описание которой приведено в работе [6]. Выполненный с ее помощью тепловой расчет системы подтвердил высокую эффективность глубокой утилизации

© А. В. Ефимов, А. Л. Гончаренко, 2017

теплоты уходящих из котла газов: КПД системы при расчете по высшей теплоте сгорания топлива составляет 93,3 % (КПД котла равен 79,96 %), что позволяет обеспечить условную экономию 14,4 % природного газа. При сохранении расхода топлива на неизменном уровне обеспечивается получение: горячего воздуха с расходом 0,3745 кг/с и температурой 179 °С, подаваемого в топку котла и частично в газоотводящий тракт системы для обеспечения его защиты от разрушения, воды для горячего водоснабжения с расходом 0,3868 кг/с (1392 кг/ч) и температурой 47,5 °С, а также конденсата с расходом 0,02824 кг/с (101,7 кг/ч), который может быть использован в качестве подпитки котла или системы теплоснабжения.

Состояние и актуальность проблемы

Конденсационные технологии утилизации теплоты уходящих из котлов газов успешно используются уже достаточно давно, однако проблема их совершенствования и в настоящее время является насущной и актуальной. Особенно важными являются проблемы повышения технико-экономических и экологических показателей теплоутилизационных установок.

Одним из достаточно эффективных и наиболее доступных методов достижения этой цели является впрыск влаги в топку котлов (водяного пара, воды, увлажненного воздуха) [7–9].

Подача воды или пара в зону горения вызывает значительный интерес у исследователей. Это обусловлено тем, что за счет уменьшения максимальной температуры горения и времени пребывания продуктов сгорания в зоне горения, а также изменения содержания активных промежуточных соединений происходит снижение генерации оксидов азота.

При этом эта технология является относительно малозатратной, так как в связи со сравнительно малым расходом среды нет необходимости в трубопроводах большого диаметра. Кроме того, положительными являются процессы догорания в факеле окиси углерода СО и бенз[а]пирена.

Однако при вводе влаги в топку котла традиционного исполнения возрастает температура уходящих газов t_{yx} (при вводе влаги в количестве 1 % номинальной паропроизводительности котла t_{yx} повышается на 2 °С [7]) и, соответственно, потеря теплоты с уходящими газами q_2 . При впрыске влаги в количестве 10 % от расхода топлива КПД котла уменьшается на 0,6–0,7 %.

В конденсационных системах (и в котлах), несмотря на относительно небольшое увеличение температуры точки росы, при вводе влаги в топку, сохраняется возможность обеспечить t_{yx} и q_2 на неизменном уровне. При этом в системе увеличи-

вается количество теплоты, выделяющейся за счет конденсации из уходящих газов избыточно добавленного водяного пара, что приводит к повышению КПД системы и расходов нагреваемой воды и конденсата.

Постановка задачи

Выполнить расчетное исследование по оценке влияния ввода воды в зону горения на технико-экономические, теплотехнические и конструктивные характеристики утилизационной системы и ее элементов с помощью разработанной компьютерной программы. Осуществить оценку воздействия впрыска воды в топку котла на эффективность снижения концентраций оксидов азота в продуктах сгорания топлива.

Изложение основного материала

При проведении исследования с целью сохранения t_{yx} и q_2 температура газов на выходе из КТА принималась равной 35 °С, а на выходе из системы (после подмешивания части горячего воздуха в газоотводящий тракт) – 58 °С. В качестве вводимой влаги предлагается использовать получаемый в системе конденсат с температурой 20 °С.

Как известно [7, 8], ввод воды может несколько ухудшить процесс горения топлива в топочной камере, поэтому ее расход не должен превышать 10 % расхода топлива. Установлено также, что наиболее целесообразно подавать воду через горелки.

В связи с тем, что вода, вводимая в топку котла, полностью превращается в пар, расход влаги определяется в процентном отношении к теоретическому объему водяного пара на входе в теплоутилизаторы $V_{H_2O}^{BX}$

$$G_{влi} = BV_{H_2O}^{BX} \rho_{H_2O},$$

где B – расход топлива, м³/с; ρ_{H_2O} – плотность водяного пара, кг/м³, $\rho_{H_2O} = 0,804$ кг/м³; $V_{H_2O}^{BX}$ – объем водяного пара на входе в теплоутилизаторы, определяемый как

$$V_{H_2O}^{BX} = V_{H_2O}^0 + V_{H_2O}^0 n_i / 100,$$

где n_i – количество вводимой влаги, %.

Водотопливное отношение, кг·влаги/м³ газа, находится как

$$g_i = G_{влi} \rho_{газ}^0 / G_{газ},$$

где $G_{влi}$ и $G_{газ}$ – соответственно расход влаги и природного газа, кг/с; $\rho_{газ}^0$ – плотность сухого природного газа при 0 °С и 101,3 кПа, $\rho_{газ}^0 = 0,724$ кг/м³ (из теплового расчета котла).

Парциальное давление водяного пара, МПа, в уходящих из котла газах определяется по формуле

$$p_{pi}^{BX} = pV_{H_2O}^{BX} / V_{\Gamma}^{BX} .$$

Влагосодержание уходящих из котла газов, г/кг с. г., определяется как

$$d_{vxi} = \frac{M_{H_2O}}{M_{с.г.}^{BX}} \frac{p_{pi}^{BX} \cdot 10^3}{p - p_{pi}^{BX}} ,$$

где M_{H_2O} и $M_{с.г.}^{BX}$ – молекулярные массы водяного пара и сухих газов; p – давление уходящих из котла газов, МПа.

Температура точки росы находится в соответствии с зависимостью

$$t_{pi} = \frac{\log(7500p_{pi}^{BX}) \cdot 236 - 156}{8,12 - \log(7500p_{pi}^{BX})} .$$

Дальнейший расчет осуществляется с помощью компьютерной программы в соответствии с алгоритмом, изложенным в [5].

Результаты расчетного исследования по оценке влияния ввода влаги в зону горения на технико-экономические, теплотехнические и конструктивные характеристики утилизационной системы и ее элементов приведены в табл. 1. Расчет выбросов оксидов азота выполнялся в соответствии с методиками [10–12] (в пересчете на NO₂ при коэффициенте избытка воздуха, равном 1,4). Так

как паропроизводительность котла, входящего в теплоутилизационную систему, составляет 1 т/ч, то за основу взята методика определения выбросов NO₂ в атмосферу при сжигании газообразного топлива в котлах производительностью менее 30 т/ч пара [10].

Суммарное количество оксидов азота M_{NO_2} (мг/с), поступающего в атмосферу с дымовыми газами, рассчитывается по уравнению

$$M_{NO_2} = C_{NO_2} V_{с.г.} B ,$$

где C_{NO_2} – массовая концентрация оксидов азота в сухих дымовых газах при $\alpha = 1,4$ и нормальных условиях, мг/м³; $V_{с.г.}$ – объем сухих дымовых газов при $\alpha = 1,4$, м³/м³.

Поэтому концентрация оксидов азота, мг/м³, в соответствии с [10] определяется по формуле

$$C_{NO_2} = Q_i^r K'_{NO_2} \beta_k \beta_t \beta_\alpha \cdot 10^3 / V_{с.г.} , \quad (1)$$

где Q_i^r – теплота сгорания топлива, МДж/м³; K'_{NO_2} – удельный выброс оксидов азота, г/МДж; β_k – коэффициент, учитывающий принципиальную конструкцию горелки, $\beta_k = 1$; β_t – коэффициент, учитывающий температуру воздуха, подаваемого для горения; β_α – коэффициент, учитывающий влияние избытка воздуха на образование оксидов азота, $\beta_\alpha = 1,225$.

Таблица 1 – Результаты расчетного исследования

Параметр	Размерность	Водотопливное отношение г, кг-влаги/м ³ природного газа					
		0	0,03441	0,06882	0,10123	0,13764	0,17206
n	%	0	2	4	6	8	10
$V_{H_2O}^{BX}$	м ³ /м ³ топл.	2,140	2,183	2,226	2,268	2,311	2,354
p_{Π}^{BX}	МПа	0,01646	0,01672	0,01699	0,01726	0,01752	0,01778
$d_{vх}$	г/кг с. г	122,7	124,7	127,1	129,5	131,9	134,3
t_p	°С	56,0	56,3	56,7	57,0	57,3	57,6
η_c^B	%	93,3	93,5	93,8	94,0	94,2	94,4
$\Delta B_{усл}$	%	14,4	14,5	14,8	14,9	15,1	15,3
$G_{вод}$	кг/с	0,3868	0,3966	0,4062	0,4158	0,4253	0,4347
$G_{конд}$	кг/с	0,02824	0,02905	0,02986	0,03067	0,03148	0,03229
$t_{вод}$	°С	47,5	47,9	48,3	48,6	49,0	49,4
$H_{КВП}$	м ²	49,4	49,0	48,6	48,2	47,8	47,5
$H_{КТА}$	м ²	11,7	11,8	12,0	12,2	12,3	12,4
$Q_{сух}$	кДж/м ³	2541	2544	2548	2551	2555	2558
$Q_{КВП}^K$	кДж/м ³	223	219	216	212	208	204
$Q_{КТА}$	кДж/м ³	2936	3027	3118	3210	3301	3392
T_a	К	2297	2286	2274	2262	2251	2239
C_{NO_2}	мг/м ³	149	142	134	127	119	112

В соответствии с рекомендациями [12] учет температуры подогрева воздуха осуществляется путем суммирования теплоты сгорания топлива с теплотой, вносимой в зону активного горения с воздухом,

$$Q_T = Q_i' + Q_B,$$

где

$$Q_B = \alpha_T I_B^0 + 0,5 \Delta \alpha_T I_{XB}^0,$$

где α_T – коэффициент избытка воздуха в горелке; I_B^0 – энтальпия горячего воздуха, МДж/м³; $\Delta \alpha_T$ – присос воздуха в топку; I_{XB}^0 – энтальпия холодного воздуха, МДж/м³.

Поэтому из формулы (1) исключается β_i .

Кроме этого, в методике [10] отсутствует учет влияния ввода влаги в зону горения. В соответствии с этим в формулу (1) необходимо включить заимствованный из [11] коэффициент $K_{вл} = 1 - a_{вл} n$, где $a_{вл}$ – коэффициент, учитывающий место ввода влаги, при вводе в корень факела $a_{вл} = 0,025$. Учитывая это, формула (1) преобразуется к виду

$$C_{NO_2} = Q_T K'_{NO_2} \beta_K \beta_\alpha \cdot 10^3 K_{вл} / V_{с.г.}$$

Методики, представленные в [11, 12], предназначены для расчета выбросов оксидов азота из котлов большой мощности и, к сожалению, не могут быть использованы в нашем случае, ввиду того, что эмпирические зависимости для определения теплонапряжения зоны активного горения и других параметров не могут быть применены для котлов небольшой производительности. Однако использование методики [12] позволило осуществить оценку изменения адиабатической температуры горения в зависимости от водотопливного отношения (см. табл. 1).

Результаты расчетной оценки влияния ввода влаги в зону горения на эффективность снижения концентраций оксидов азота в продуктах сгорания топлива представлены в табл. 1 и на рис. 1.

Обсуждение результатов

Анализ результатов расчетного исследования свидетельствует, что при вводе воды в зону горения котла в количестве 10 % расхода природного газа за счет увеличения парциального давления водяного пара в уходящих из котла газах возрастает начальное влагосодержание на 12 г/кг с. г., а также температура точки росы на 1,6 °С.

В результате конденсации введенного в продукты сгорания топлива водяного пара (при сохранении температуры уходящих из системы газов на неизменном уровне) выделяется дополнительная теплота, что приводит к повышению КПД системы, рассчитанного по высшей теплоте сгорания топлива, на 1,1 %. При этом величина экономии условного топлива возрастает на 0,9 %.

В случае сохранения расхода топлива на неизменном уровне температура и расход горячего воздуха не меняются, а расход воды для системы горячего водоснабжения возрастает на 0,0679 кг/с (244 кг/ч). При этом температура нагреваемой воды повышается на 1,9 °С, растет также расход получаемого конденсата на 0,00405 кг/с (14,6 кг/ч).

При вводе влаги в зону горения происходит некоторое изменение конструктивных параметров теплоутилизаторов. В случае впрыска воды в количестве 10 % расхода топлива площадь теплообменной поверхности КВП (в нем конденсируется около 7,5 % водяного пара, содержащегося в уходящих дымовых газах) уменьшается на 1,9 м² (3,8 %), что объясняется сравнительно небольшим перераспределением между количествами теплоты, используемыми в бесконденсационной и конденсационной его частях. Как видно из табл. 1, количество теплоты, расходуемое в «сухой» зоне КВП $Q_{сух}$, незначительно возрастает – на 17 кДж/м³, в то же время количество теплоты, расходуемое в конденсационной зоне КВП $Q_{КВП}^K$, уменьшается на 19 кДж/м³. Площадь поверхности теплообмена КТА возрастает на 0,7 м² (5,6 %), так как в нем происходит конденсация всего оставшегося в продуктах сгорания водяного пара, $Q_{КТА}$ увеличивается существенно – на 456 кДж/м³.

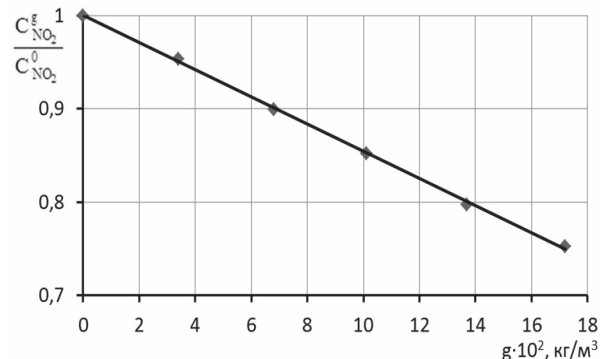


Рис. 1 – Эффективность ввода воды в зону горения: $C_{NO_2}^g$ – концентрация NO_2 при вводе воды;

$C_{NO_2}^0$ – концентрация NO_2 без ввода воды

Ввод воды в топку котла в количестве 10 % расхода топлива позволяет снизить концентрацию оксидов азота на 25 %, что хорошо согласуется с данными многих исследователей, например [7, 8].

Следует отметить, что концентрация оксидов азота в уходящих из конденсационной теплоутилизационной системы газах несколько уменьшится за счет увеличения концентрации NO_2 в общем составе NO_x и его растворения в конденсате. Однако это требует дальнейшего исследования.

Выводы

1 Ввод в зону горения влаги является достаточно эффективной технологией повышения технико-экономических и экологических показателей теплоутилизационной системы конденсационного типа.

2 Такая технология позволяет повысить КПД системы и, тем самым, увеличить условную экономию топлива. При сохранении расхода топлива на неизменном уровне достигается существенное увеличение количества нагреваемой воды и повышение ее температуры, возрастает также выход конденсата.

3 Впрыск воды в реакционную зону горения дает возможность значительно снизить эмиссию оксидов азота в окружающую среду.

4 Требуется дальнейшего исследования оценка степени снижения выбросов оксидов азота в окружающую среду за счет растворения NO_2 в конденсате.

тах сгорания газа и мазута / **А. Ф. Гаврилов, А. Д. Горбаненко, Е. Л. Туркестанова** // Теплоэнергетика. – 1983. – № 9. – С. 13–15.

- 8 **Сигал, И. Я.** Защита воздушного бассейна при сжигании топлива / **И. Я. Сигал.** – Ленинград : Недра, 1988. – 312 с.
- 9 **Авдеевский, В. С.** Снижение выбросов окислов азота от энергетических установок путем ввода воды в зону горения факела / **У. Г. Пирумов, А. И. Папуша, В. А. Григорьев, Э. П. Волков, В. И. Кормилицын** / Межведомственный сборник трудов. МЭИ. – 1984. – № 50. – С. 3–19.
- 10 Методика определения выбросов загрязняющих веществ в атмосферу при сжигании топлива в котлах производительностью менее 30 т/ч или менее 20 Гкал/ч. – Санкт-Петербург : Интеграл, 1999.
- 11 РД 34.02.304-95 Методические указания по расчету выбросов оксидов азота с дымовыми газами котлов тепловых электростанций. – Введены 01.07.1996.
- 12 СО 153-34.02.304-2003 Методические указания по расчету выбросов оксидов азота с дымовыми газами котлов тепловых электростанций. – Введены 01.07.2003.

Список литературы

- 1 **Долінський, А. А.** Основні положення концепції Національної стратегії теплозабезпечення населених пунктів України / **А. А. Долінський, Б. І. Басок, Є. Т. Базеев, Г. П. Кучин** // Промышленная теплотехника. – 2009. – Т. 31, № 4. – С. 68–77. – ISSN 0204-3602.
- 2 **Гаряев, А. Б.** Совершенствование методов расчета аппаратов и установок для глубокой утилизации теплоты влажных газов, и разработка мер по повышению эффективности ее использования : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.14.04 / **Гаряев Андрей Борисович.** – Москва, 2010. – 40 с.
- 3 **Фиалко, Н. М.** Эффективность систем утилизации теплоты отходящих газов энергетических установок различного типа / **Н. М. Фиалко, Ю. В. Шеренковский, А. И. Степанова, Р. А. Навродская, П. К. Голубинский, М. А. Новаковский** // Промышленная теплотехника. – 2008. – № 3. – С. 68–76.
- 4 **Sullivan, R. E.** The Timken Company's Canton plant utilizes a condensing heat exchanger to recover boiler stack heat to preheat makeup water / **R. E. Sullivan** // II ASHRAE J. – 1985. – V. 27, № 3. – P. 73–75.
- 5 **Ефимов, А. В.** Система глубокой утилизации теплоты газов, уходящих из котельных агрегатов / **А. В. Ефимов, А. Л. Гончаренко, Л. В. Гончаренко** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. – Харків : НТУ «ХПІ», 2013. – № 13(987). – С. 73–80. – Бібліогр.: 12 назв. – ISSN 2078-774X.
- 6 **Ефимов, А. В.** Выбор оптимальных параметров теплоносителей при разработке системы глубокой утилизации теплоты уходящих из котельных агрегатов газов / **А. В. Ефимов, А. Л. Гончаренко, О. В. Касилов, Л. В. Гончаренко** // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2014. – № 3. – С. 2–11. – ISSN 2313-8890.
- 7 **Гаврилов, А. Ф.** Влияние влаги, вводимой в горячий воздух, на содержание оксидов азота в продук-

Bibliography (transliterated)

- 1 **Dolinskiy, A. A., B. I. Basok, Ye. T. Bazeev, G. P. Kuchy`n** (2009), "Osnovni polozhennja koncepcii Nacional'noi' strategii' teplozabezpechennja naselenyhpunktiv Ukrainy [The main provisions of the concept of National strategy of heat supply of settlements of Ukraine]", *Promyshlennaja teplotehnika*, Vol. 31, No. 4, pp. 68–77, ISSN 0204-3602. Print.
- 2 **Garjaev, A. B.** (2010), *Sovershenstvovanie metodov rascheta apparatov i ustanovok dlja glubokoj utilizacii teploty vlazhnyh gazov i razrabotka mer po povysheniju jeffektivnosti ee ispol'zovanija [Improving methods of calculating machines and installations for deep wet gas heat recovery and the development of measures to improve the efficiency of its use]*, Avtoref. dis. ... d-ra tehn. nauk. Moscow.
- 3 **Fialko, N. M., Yu. V. Sherenkovsky`j, A. Y. Stepanova, R. A. Navrodsckaya, P. K. Goluby`nsky`j, M. A. Novakovsky`j** (2008), "Jeffektivnost' sistem utilizacii teploty othodjashhih gazov jenergeticheskikh ustanovok razlichnogo tipa [The efficiency of heat recovery systems flue gases of power plants of various types]", *Promyshlennaja teplotehnika*, Vol. 3, pp. 68–76.
- 4 **Sullivan, R. E.** (1985), "The Timken Company's Canton plant utilizes a condensing heat exchanger to recover boiler stack heat to preheat makeup water", *II ASHRAE J*, Vol. 27, No. 3, pp. 73–75.
- 5 **Yefimov, A. V., Goncharenko, A. L. and Goncharenko, L. V.** (2013), Sistema glubokoj utilizacij teploty gazov, uhodjashhih iz kotel'nyh agregatov [System of deep heat recovery from gases, leaving the boiler], *Bulletin of NTU "KhPI". Series: Power and heat engineering processes and equipment*, no. 13(987), pp. 73–80, ISSN 2078-774X.
- 6 **Efimov, A. V., Goncharenko, A. L., Kasilov, O. V. and Goncharenko, L. V.** (2014), "Vybor optimal'nyh parametrov teplonositelej pri razrabotke sistemy glubokoj utilizacii teploty uhodjashhih iz kotel'nyh agregatov gazov [Choice of optimal parameters in system design coolants deep heat recovery from flue gases

- of boilers]", *Jenergosberezenie. Jenergetika. Jenergo-audit*, No. 3. pp. 2–11, ISSN 2313-8890.
- 7 **Gavrilov, A. F., Gorbanenko, A. D., and Turkestanova, E. L.** (1983), "Vliyanie vlagi, vvodimoj v goryachiy vozduh, na sodержanie oksidov azota v produktah sgoraniya gaza i mazuta [Effect of moisture introduced into the hot air on the content of nitrogen oxides in combustion products and gas oil]", *Teploenergetika*, No. 9, pp. 23–15.
 - 8 **Sigal, I. Ja.** (1988), *Zazhita vozduchnogo bassejna pri szhiganiy topliva [Protection of air pool from fuel combustion]*, Leningrad, Russian.
 - 9 **Avduevskij, V. S., Pirumov, U. G., Papucha, A. I., Grigor'ov, V. A., Volkov, J. P. and Kormilitsyn, V. I.** (1984), "Snizhenie vybrosov oksidov azota ot jnergeticheskikh ustanovok putem vvoda vody v zonu gorenija fakela [Reduction of nitrogen oxide emissions from power plants by introducing water into the flame combustion zone]", *Sb. trudov MJI*, No. 50. pp. 3–19, Moscow, Russian.
 - 10 (1999), *Metodika opredelenija vybrosov zagryaznyajushchih veshhestv v atmosferu pri szhiganiy topliva v kotlah proizvoditel'nosr'ju menee 20 Gkal/th. [Methods of determining emissions of pollutants into the atmosphere from fuel combustion in boilers of capacity less than 30 tons/h or less than 20 Gcal/h]*, St. Petersburg, Russian.
 11. (1996), *Metodicheskij ukazaniya po rasthetu vybrosov oksidov azota s dymovymi gazami kotlov teplovyh jektrostantsij RD 34.02.304-95 [Guidelines for the calculation of emissions of nitrogen oxides from the flue gases of boilers for thermal power RD 34.02.304-95]*, Moscow, Russian.
 - 12 (2003), *Metodicheskij ukazaniya po rasthetu vybrosov oksidov azota s dymovymi gazami kotlov teplovyh jektrostantsij SO 153-34.02.304-2003 [Guidelines for the calculation of emissions of nitrogen oxides from the flue gases of boilers for thermal power CO 153-34.02.304-2003]*, Moscow, Russian.

Сведения об авторах (About authors)

Ефимов Александр Вячеславович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедры парогенераторостроения, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», г. Харьков, Украина; e-mail: AVEfimov@Kpi.Kharkov.ua, ORCID 0000-0003-3300-7447.

Yefimov Alexander V. – Doctor of Technical Science, Professor, Head of the Department steam generator buildings, National of Technical University "Kharkov Polytechnic Institute", Kharkov, Ukraine.

Гончаренко Александр Леонидович – кандидат технических наук, доцент кафедры парогенераторостроения, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», г. Харьков, Украина; e-mail: dalexg@rambler.ru, ORCID 0000-0003-4959-6469.

Goncharenko Alexander L. – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent Department of steam generator buildings, Head of Department National of Technical University "Kharkov Polytechnic Institute", Kharkov, Ukraine.

Пожалуйста, ссылаетесь на эту статью следующим образом:

Ефимов, А. В. Повышение экономичности и экологической эффективности теплоутилизационной системы конденсационного типа путем ввода влаги в топку котла / **А. В. Ефимов, А. Л. Гончаренко** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 9(1231). – С. 76–81. – Бібліогр.: 12 назв. – ISSN 2078-774X. – doi: 10.20998/2078-774X.2017.09.12.

Please cite this article as:

Yefimov, A. and Goncharenko, A. (2017), "Increasing the Effectiveness and the Ecologic Efficiency of the Heat Recovery System of a Condensation Type by Injecting Moisture into the Boiler Furnace", *Bulletin of NTU "KhPI". Series: Power and heat engineering processes and equipment*, No. 9(1231), pp. 76–81, ISSN 2078-774X, doi: 10.20998/2078-774X.2017.09.12.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Єфімов, О. В. Підвищення економічності і екологічної ефективності теплоутилізаційної системи конденсаційного типу шляхом введення вологи в топку котла / **О. В. Єфімов, О. Л. Гончаренко** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 9(1231). – С. 76–81. – Бібліогр.: 12 назв. – ISSN 2078-774X. – doi: 10.20998/2078-774X.2017.09.12.

АНОТАЦІЯ З метою підвищення економічності і екологічних показників системи для глибокої утилізації теплоти відхідних газів котельного агрегату невеликої паропродуктивності запропоновано здійснити введення вологи в топку котла. За допомогою комп'ютерної програми виконано розрахункове дослідження з оцінки впливу цієї технології на техніко-економічні, теплотехнічні та конструктивні характеристики теплоутилізаційної системи і її елементів. Здійснено оцінку впливу впровадження вологи на ступінь зниження викидів оксидів азоту в навколишнє середовище. Показано, що запропонована технологія є досить ефективною: при введенні 10 % вологи в зону горіння палива ККД системи підвищується на 1,1 %, а концентрація оксидів азоту в продуктах згорання палива зменшується на 25 %.

Ключові слова: система глибокої утилізації теплоти, введення вологи, топка котла, коефіцієнт корисної дії, витрата води, витрата конденсату, площа поверхні теплообміну, концентрація оксидів азоту.

Поступила (received) 14.02.2017