

УДК 621.184.004

## Снижение выбросов оксидов азота при сжигании подготовленной газозоудушной смеси в вихревой горелке

А. А. Редько<sup>1</sup>, А. А. Павловская<sup>2</sup>, А. В. Давиденко<sup>3</sup>, И. А. Редько<sup>4</sup>

<sup>1</sup>д.т.н., проф. Харьковский национальный университет строительства и архитектуры, г. Харьков, Украина, andrey.ua-mail@ukr.net

<sup>2</sup>асп. Харьковский национальный университет строительства и архитектуры, г. Харьков, Украина, pavlov-a-87@ukr.net

<sup>3</sup>асп. Харьковский национальный университет строительства и архитектуры, г. Харьков, Украина, ana25.davidenko@gmail.com

<sup>4</sup>к.т.н., доц. Харьковский национальный университет городского хозяйства имени А. Н. Бекетова, г. Харьков, Украина, getmes\_s2006@ukr.net

*Аннотация.* Приведены результаты численного исследования сжигания подготовленной газозоудушной смеси ( $\alpha'_s = 0,75$ ) в вихревой горелке. Представлены результаты компьютерного трёхмерного моделирования низко-эмиссионной схемы сжигания газа с учётом влияния конструктивных параметров горелочных устройств и технологических мероприятий. В расчётах приняты конструктивные параметры горелки: угол установки лопаток регистра в потоке первичного воздуха  $\varphi_1 = 45^\circ$  при  $\alpha'_s = 0,75$ , а угол установки лопаток в потоке вторичного воздуха  $\varphi_2 = 60^\circ$ , общий коэффициент избытка воздуха равен  $\alpha_s = 1,10$ . Результаты моделирования показывают, что в процессе сжигания метана, возможно снижение выбросов термических оксидов азота до значений 25...30 мг/м<sup>3</sup>. Выполненные численные исследования теплообмена и аэродинамики водотрубных паровых котлов показали возможности оценки эффективности эксплуатации горелочных устройств.

*Ключевые слова:* численное исследование, вихревая горелка, сжигание газа, оксиды азота.

**Постановка проблемы.** В работах различных авторов [1-4, 23, 24] приводятся результаты, указывающие на эффективность малозатратных мероприятий по снижению выбросов оксидов азота, таких как: вихревые технологии, интенсивный отвод теплоты от факела, нестехиометрические процессы горения. Требования по обеспечению экологических показателей топливоиспользующих агрегатов приводят к необходимости разработки новых технических решений [5].

**Актуальность исследования.** Снижение выбросов термических оксидов азота при сжигании топлива в котельных агрегатах является актуальной задачей, связанной с экологической безопасностью теплогенерирующих установок.

**Последние исследования и публикации.** В работах [1-4] установлено, что вихревые горелки обеспечивают сильнозакрученный факел и устойчивость горения за счёт развитых возвратных течений в приосевой зоне. Конструктивный параметр – угол установки лопаток завихрителя, – а также параметр крутки, характеризуют крупномасштабное влияние на аэродинамические процессы, структуру, размеры и форму пламени. Установлено, что угол установки лопаток по вторич-

ному воздуху не должен превышать  $\varphi_2 = 60^\circ$  при общем коэффициенте избытка воздуха  $\alpha_s = 1,10$  и при значении коэффициента избытка первичного воздуха  $\alpha'_s = 0,15$ . Значение концентрации оксидов азота при этом снижается до  $125 \text{ мг/м}^3$  на выходе топки котла ДКВР-10/14.

Значение коэффициента избытка первичного воздуха также влияет на образование оксида азота. В работах [5-8] приведены данные о снижении выбросов оксидов азота в процессе сжигания газа при коэффициенте избытка первичного воздуха  $\alpha_s = 0,70 \dots 0,75$ . В процессе горения пики максимальной температуры пламени сглаживаются и горение переходит из факельного в объёмное горение [9-11].

Объёмное сжигание позволяет обеспечить равномерность нагрева топочно-го объёма и снизить выбросы оксидов азота. Объёмное сжигание организуется интенсивной крупномасштабной рециркуляцией продуктов сгорания в топке газовых котлов или промышленных печей (технология Flox-Flammlose Oxidation). Способы организации объёмного сжигания могут быть различными [10-14]. Снижение температуры факела осуществляется за счёт подмешивания продуктов сгорания и воздуха. Широко применяется объёмное сжигание в нагревательных печах металлургических комбинатов [11, 14]. Однако, сложность практической реализации данного способа организации устойчивого горения при переменной тепловой мощности горелок требует дальнейших исследований.

**Формулирование целей статьи.** Численное моделирование процесса сжигания подготовленной газозоудушной смеси в закрученном потоке топки котла ДЕ-10/14.

**Объект и методика исследования.** Исследован вертикально-водотрубный газомазутный котёл ДЕ-10-14ГМ с горелочным устройством ГМГ-7, предназначенный для производства насыщенного и слабо перегретого пара с температурой  $225^\circ\text{C}$  с абсолютным давлением  $14 \text{ кгс/см}^2$ , номинальной производительностью  $10 \text{ т/ч}$ . На рис. 1 представлена геометрическая модель горелки и котла.

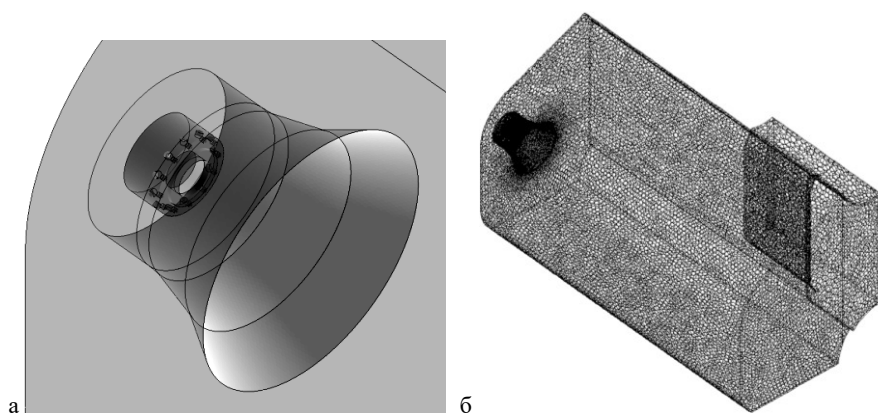
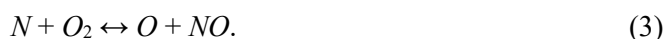


Рис. 1. Расчётные модели: а) – модель горелки; б) – расчётная сетка топки котла.

Математическая модель радиационно-конвективного теплообмена в газовом тракте котла сформирована на основе усреднённых по Рейнольдсу уравнений

Навье – Стокса с учётом гравитации и с пренебрежением сжимаемостью [15-20]. Модель составляют уравнение неразрывности, переноса импульса, энергии и химических компонентов газовой смеси, записанные в стационарной форме. Уравнения замкнуты законом Ньютона для тензора давления, законом Фурье для теплового потока, законом Фика для потока массы, законом Клапейрона – Менделеева для термодинамического состояния смеси газов, уравнениями модели турбулентности  $k$ - $\epsilon$  Лаундера – Сполдинга и модели турбулентного горения Магнусена – Хертагера.

Моделирование выполнено методом контрольного объёма. Монооксид азота образуется по классическому термическому механизму Я. Б. Зельдовича [21, 22]:



Для нахождения массовой доли оксида азота дополнительно решали уравнения переноса для  $NO$ :

$$\rho u_i \frac{\partial Y_{NO}}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \frac{\mu}{Sc} \frac{\partial Y_{NO}}{\partial x_i} + R_{NO}, \quad i = 1, 2, 3, \quad (4)$$

где  $u_i$  – составляющие вектора скорости в направлении соответствующих осей декартовых координат  $x_i$ ,  $\rho$  – плотность;  $Y_{NO}$  – массовая доля химического компонента;  $\mu$  – коэффициент динамической вязкости;  $Sc \equiv \mu / (D \rho)$  – число Шмидта;  $D$  – коэффициент диффузии;  $R_{NO}$  – исходный член.

Влияние времени пребывания реагентов в реакционном объёме на образование  $NO$  учтено в конвективном члене данного уравнения, которое записано в эйлеровой системе координат. Исходный член  $R_{NO}$  можно записать следующим образом:

$$R_{NO} = M_{NO} \frac{d[NO]}{dt}, \quad (5)$$

где  $M_{NO} = 30$  – молекулярная масса  $NO$ ;  $d[NO]/dt$  – скорость образования  $NO$ , определённая с применением гипотезы о частичном термодинамическом равновесии для реакции (1) формулой [22-24]:

$$\frac{d[NO]}{dt} = \frac{5 \cdot 10^{11}}{\sqrt{[O_2]}} \exp\left(\frac{-86000}{RT}\right) \left[ [N_2] \cdot [O_2] \frac{64}{3} \exp\left(\frac{-43000}{RT}\right) - [NO]^2 \right], \quad (6)$$

где  $[NO]$ ,  $[N_2]$ ,  $[O_2]$  – концентрация соответствующих компонентов кинетической схемы (1) – (3);  $t$  – время;  $R$  – универсальная газовая постоянная;  $T$  – температура.

**Основные результаты.** Расчётными и экспериментальными исследованиями установлено [1-9, 23, 24], что определяющими характеристиками при образовании термических оксидов азота являются максимальная температура факела  $T_{max}$ , скорость реакции и концентрация избыточного кислорода в зоне горения, температурный интервал реакции  $\Delta T_p$ , тепловое напряжение сечения топочной камеры.

Результаты численного трёхмерного моделирования концентрации оксидов азота показаны на рис. 2.

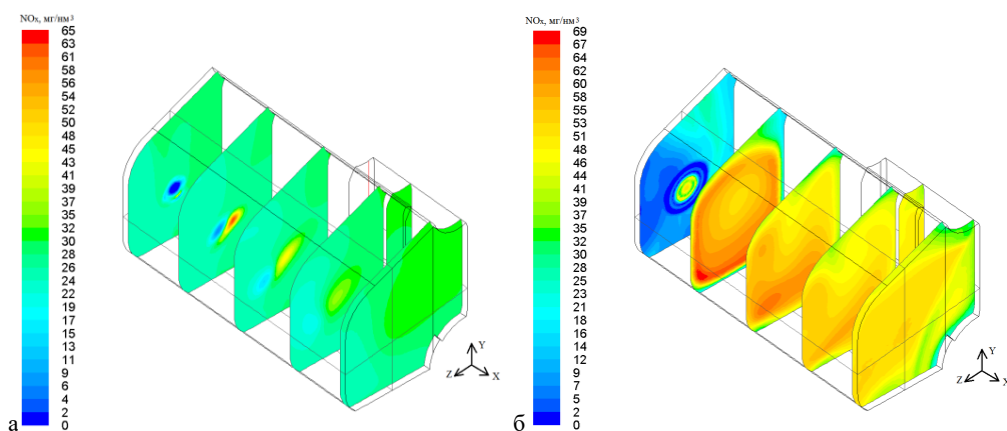


Рис. 2. Поля концентрации  $NO_x$  в поперечных сечениях:  
 а – при  $\varphi_1=45^\circ$ ;  $\varphi_2=60^\circ$ ;  $\alpha'_e=75\%$ ; б – при  $\varphi_1=45^\circ$ ;  $\varphi_2=60^\circ$ ;  $\alpha'_e=15\%$ .

Структура факела в зависимости от количества первичного воздуха существенно изменяется (при этом конструктивные параметры горелочного устройства – углы установки лопаток регистров – одинаковые). Так, при коэффициенте избытка первичного воздуха  $\alpha'_e=15\%$  факел имеет V-образную форму с углом раскрытия  $60^\circ$ . Сжигание газа происходит в узких струях вблизи экранных охлаждающих поверхностей. В объёме на оси топки происходит дожигание газа при температуре  $800 \dots 1200^\circ\text{C}$ . При сжигании подготовленной газозвушной смеси при  $\alpha'_e=75\%$ , структура факела имеет форму узкой струи значительной длины  $2,8 \dots 3$  м диаметром  $0,5 \dots 0,8$  м. При этом факел имеет практически одинаковую температуру по всей длине. Дожи́гание газа происходит по всей длине факела.

Поля концентрации оксидов азота показаны на рис. 3. Видна структура факела и значения концентрации оксидов азота при различных значениях коэффициентов избытка первичного воздуха.

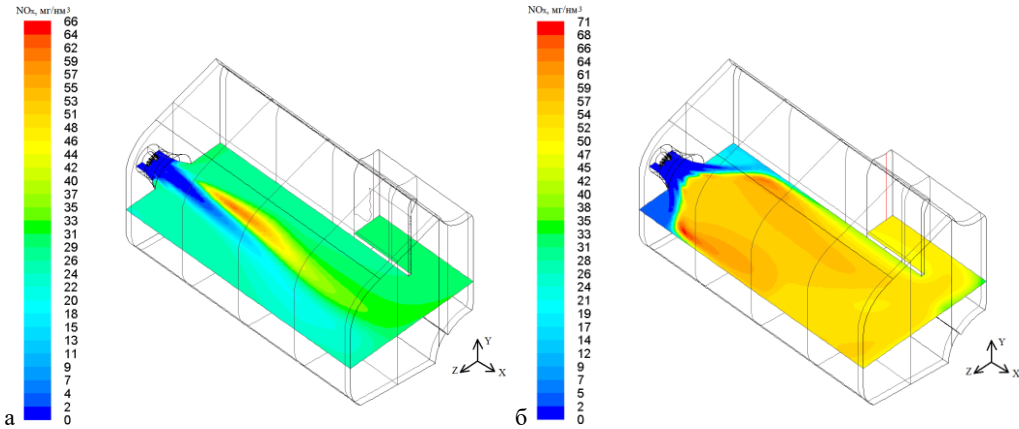


Рис. 3. Поля концентрации NO<sub>x</sub> в горизонтальных сечениях:  
 а – при  $\varphi_1=45^\circ$ ;  $\varphi_2=60^\circ$ ;  $\alpha_1=75\%$ ; б – при  $\varphi_1=45^\circ$ ;  $\varphi_2=60^\circ$ ;  $\alpha_1=15\%$ .

Сжигание природного газа (метана) характеризуется высокой скоростью реакции горения, при этом сокращается зона активного горения и увеличивается максимальная температура (до 2000 К). Установлено [2], что интенсивный отвод теплоты от факела уменьшает скорость реакции горения и время достижения равновесной концентрации оксида азота при температуре реакции, что обеспечивает снижение концентрации оксидов азота на выходе из топки котла.

При этом, снижение температуры факела и теплового напряжения сечения топочной камеры также приводят к понижению концентрации оксидов азота. На рис. 4 приведены средние значения температуры газов по глубине топки.

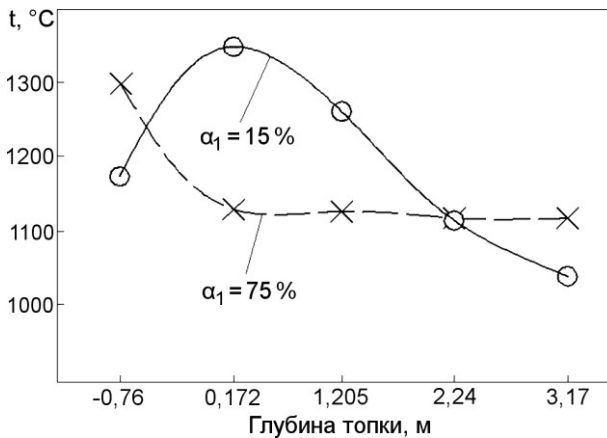


Рис. 4. Распределение температуры газового потока по глубине топки

Температура газов при сжигании подготовленной газозвушной смеси имеет значения 1150 °C по всей длине факела. При сжигании газа с коэффициентом избытка воздуха  $\alpha'_s = 15\%$  более высокая температура наблюдается в зоне горения газа (около 1350 °C), а затем снижается по глубине топки. Высокая концентрация кислорода в зоне горения также вызывает рост образования оксидов

азота. На рис. 5 показано поле концентраций кислорода в топочном объёме при различных значениях коэффициента первичного воздуха.

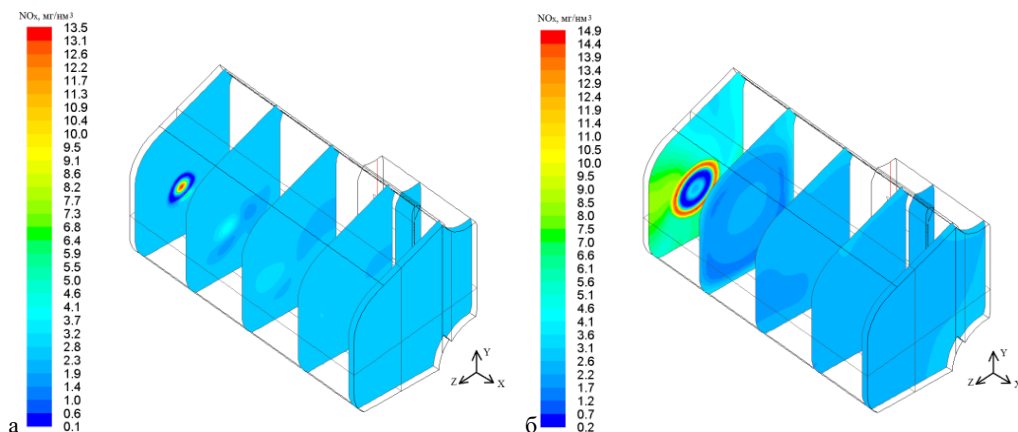


Рис. 5. Поля концентрации кислорода  $O_2$ :  
 а – при  $\varphi_1=45^\circ$ ;  $\varphi_2=60^\circ$ ;  $\alpha_1=75\%$ ; б – при  $\varphi_1=45^\circ$ ;  $\varphi_2=60^\circ$ ;  $\alpha_1=15\%$ .

Распределение температуры газов и концентрации кислорода в топочном объёме определяет концентрацию образования оксидов азота. Средние значения концентрации термических оксидов азота и их изменение по глубине топки приведены на рис. 6.

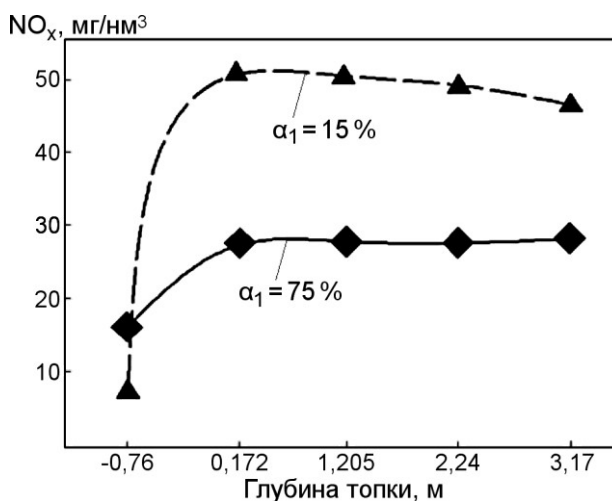


Рис. 6. Распределение средних значений концентрации оксидов азота  $NO_x$  по глубине топки

По экспериментальным данным [1] концентрация оксидов азота при сжигании газа в котле ДКВР-10/13 составила 280...310 мг/м<sup>3</sup>.

**Выводы.** Результаты численного исследования влияния конструктивных параметров горелочного устройства и коэффициента избытка воздуха показывают возможность снижения термических оксидов азота в вихревом потоке. Сжи-

гание подготовленной газоздушной смеси (коэффициент избытка первичного воздуха равен 75 %) позволяет снизить концентрацию термического оксида азота до значений 25...30 мг/м<sup>3</sup>. При этом, угол установки лопаток в канале первичного воздуха равен  $\varphi_1 = 45^\circ$ , а в канале вторичного воздуха –  $\varphi_2 = 60^\circ$ . Структура факела представлена в виде струи длиной 2,8...3 м и диаметром 0,5...0,8 м. Температура факела практически постоянная по длине и составляет около 1150 °С. Совокупность данных факторов определяют значения концентрации оксидов азота.

**Перспективы дальнейших исследований.** Выполненные численные исследования процессов теплообмена и аэродинамики водотрубных паровых котлов показали возможности оценки эффективности эксплуатации горелочных устройств. Исследованы различные конструктивные параметры горелок и процессы снижения выбросов оксидов азота. Дальнейшие исследования направлены на изучение параметров горелочных устройств при сжигании подготовленных газоздушных смесей при коэффициенте первичного воздуха  $\alpha'_g = 0,75...0,85$ .

### Литература

1. Сигал И. Защита воздушного бассейна при сжигании топлива / И. Сигал. – Ленинград: Недра. – 1988. – 313с.
2. Найдёнов Г. Ф. Горелочные устройства и защита атмосферы от окислов азота / Г. Ф. Найдёнов. – Київ: Техніка, 1979. – 97с.
2. Ахмедов Р. Б. Дутьевые газогорелочные устройства / Р. Б. Ахмедов. – Москва: Недра. 1970.
4. Халатов А. А. Компьютерные технологии в модернизации котлов и камер сгорания / А. А. Халатов, С. Г. Кобзарь // Аква-терм, 2007. – №1. – с.12-15.
5. Серант Ф. А. Разработка и исследование кольцевой топки, её промышленное внедрение и испытания на котле паропроизводительностью 820 т/ч: дис. ... докт. техн. наук 05.14.14 в виде науч. доклада: захищ. 1999: затв. 14.04.2000 / Серант Феликс Анатольевич. – Новосибирск, 1999. – 160 с.
6. Сорока Б. С. Низкоэмиссионное сжигание подготовленных газо-воздушных смесей в камере с рециркуляцией продуктов сгорания / Б. С. Сорока, В.А. Згурский, М. Хинкис // Современная наука: исследования, идеи, результаты, технологии. – 2013. – №1(12).
7. Сорока Б. С. Комбинирование способов снижения образования оксидов азота при горении – основное направление обеспечения экологических нормативов / Б. С. Сорока, К. Е. Пьяных, В. А. Згурский, А. П. Апальков // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2000. - №5. – с. 60-69.
8. Пьяных К. Е. Математическое моделирование низкоэмиссионного сжигания природного газа и совершенствование горелочных устройств на этой основе: дис. ... канд. техн. наук: 05.14.06 / Пьяных Константин Евгеньевич; Национальная академия наук Украины; Институт газа. – Київ, 2004. – 169 с.
9. Басок Б. И. Численное моделирование процессов аэродинамики в топке водогрейного котла с вторичным излучателем / Б. И. Басок, В. Г. Демченко, М. П. Мартыненко // Промышленная теплотехника. – 2006. – Т. 28, № 1. – С. 17-22.
10. Telger K. Опыт работы при применении горелок с режимом беспламенного окисления / K. Telger, W. Roth // Gaswarme international. Essen, "Vulkan". 1995. – Vol. 44. – № 7-8. – p. 332-337.
11. Губинский В. И. Теория и практика конструирования топливных нагревательных и термических печей нового поколения / В. И. Губинский, М. В. Губинский, А. О.

Ерёмин, А. В. Сибирь, Л. А. Воробьева // Тезисы докл. VI-го Минского Международного форума по тепло- и массообмену, 19-23 мая, 2008 г. Минск. – т. 2. – с. 314, 315.

12. Winning J. A. Flammenlose Oxidation von Brennstoff mit hoch vorge warm ter Luft / J. A. Winning // Chemie Ingenieur Technik. – VCH Verlagsgesellschaft mbH, 1991. – Vol. 63, №12. – p. 1243-1245. – Doi: 10.1002/cite.3306312.

13. Winning J. A., Wunning J. G. Flameless oxidation to reduce thermal NO-formation / J. A. Winning, J. G. Wunning // Progress in Energy and Combustion Science. – Elsevier, 1997. – Vol. 23. No. 1. – p. 83-94. – Doi: 10.1016/50360 – 1285(97)00006-3.

14. Раяк М. Б. Совершенствование процесса сжигания топлива. Обзор зарубежных технологий / М. Б. Раяк, Г. Я. Бернер, М. Г. Кинкер // Новости теплоснабжения. – 2011. – №12 (135).

15. Андерсон Д. Вычислительная гидромеханика и теплообмен / Д. Андерсон, Дж. Таннехилл, Р. Плетчер – Москва: Мир, 1990. – Т. 1. – 384 с.

16. Jakobsen H. A. Chemical Reactor Modeling / H. A. Jakobsen. – Springer, 2008. – 1244 p.

17. Peters N. Turbulent combustion / N. Peters. – Cambridge University Press, 2000. – 304 p.

18. Суржигов С. Т. Тепловое излучение газов и плазмы / С. Т. Суржигов. – Москва: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004. – 544 с.

19. Флетчер К. Вычислительные методы в динамике жидкости / К. Флетчер. – Москва: Мир, 1991. – Т. 1. – 502 с.

20. Патанкар С. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости / С. Патанкар. – Москва: Энергоатомиздат, 1984. – 152 с.

21. Зельдович Я. Б. Окисление азота при горении / Я. Б. Зельдович, П. Я. Садовников, Д. А. Франк-Каменецкий. – Ленинград: Изд-во АН СССР, 1947. – 75 с.

22. Зельдович Я. Б. Математическая теория горения и взрыва / Я. Б. Зельдович, Г. И. Баренблатт, В. Б. Либрович, Г. М. Махвиладзе. – Москва: Наука, 1980. – 478с.

23. Котлер В. Р. Промышленно-отопительные котельные: сжигание топлив и защита атмосферы / В. Р. Котлер, С. В. Беликов. – Санкт-Петербург: Энерготех, 2001. – 272с.

24. Росляков В. П. Технологические мероприятия по снижению вредных выбросов ТЭС в атмосферу / В. П. Росляков, Л. Е. Егорова, И. Л. Ионкин. – Москва: изд-во МЭИ, 2001.

## References

1. Sigal I. *Zaschita vozdušnogo basseina pri zjyganii topliva*. Nedra, 1988.

2. Naidenov G. F. *Gorelochnye ustroistva i zaschita atmosphy ot okislov azota*. Technika, 1979.

3. Akhmedov R. B. *Dutevye gazogorelochnye ustroistva*. Nedra, 1970.

4. Khalatov A. A., Kobzar S. G. “Kompyuternye tekhnologii v modernizacii kotlov I kamer sgoraniya”. *Akva-Therm*. 2007, no. 1. – pp. 12-15

5. Serant F. A. *Razrabotka i issledovanie kolcevoi topki, ee promyshlennoe vnedrenie i ispytaniya na kotle paroproizvoditelnostyu 820 t/ch*. Diss. Novosibirsk, 1999.

6. Soroka B. S., Zgurskii V. A., Khinkis M. “Nizkoemissionnoe sjyganie podgotovlennyh gazo-vozdushnyh smesei v kamere s recirkulyaciei produktov sgoraniya.” *Sovremennaya nauka: issledovaniya, idei, rezulaty, tekhnologii*, no. 1(12), 2013.

7. Soroka B. S., Pyanyh K. E., Zgurskii V. A., Apalkov A. P. “Kombinirovaniye sposobov snijeniya obrazovaniya oksidov azota pri gorenii – osnovnoe napravlenie obespecheniya ekologicheskikh normativov.” *Ekotekhnologii i resursoberejenie*, no. 5, 2000, pp. 60-69.



8. Pyanyh K. E. *Matematicheskoe modelirovanie nizkoemissionnogo slyganiya prirodnogo gaza I sovershenstvovanie gorelochnykh ustroystv na etoi osnove*. Diss. Національна академія наук України; Institut gaza, Natsionalnaia akademiia Ukrainy, Kyev, 2004.
9. Basok B. I., Demchenko V. G., Martynenko M. P. "Chislennoe modelirovanie processov aerodinamiki v topke vodogreynogo kotla s vtorichnym izluchatelem." *Promyshlennaya teplotekhnika*, no. 1, 2006.
10. K.Telger, W. Roth "Opyt raboty pri primenenii gorelok s rejymom besplamennogo okisleniya." *Gas warme international*, no. 7-8, 1995.
11. Gubinskii V. I., Gubinskii M. V., Eremin A. O., Sibir A. V., Vorobeva L. A. "Teoriya i praktika konstruyivaniya toplivnykh nagrevatelnykh i termicheskikh pechei novogo pokoleniya." *VI Minskii Mejdunarodnyi forum po teplo- i massoobmeny, 19-23 may 2008, Minsk, Minsk, Vol.2*, pp. 314, 315.
12. Winning J. A. "Flammenlose Oxidation von Brennstoff mit hoch vorge warm ter Luft." *Chemie Ingenieur Technik*, vol. 63, no. 12, 1991, pp. 1243-1245.
13. Winning J. A., Wunning J. G. "Flameless oxidation to reduce thermal NO-formation." *Progress in Energy and Combustion Science*, vol. 23. no. 1, 1997, pp. 83-94.
14. Raiak M. B., Berger G. Ya., Kinker M. G. "Sovershenstvovanie processa slyganiya topliva. Obzor zarubejnykh tekhnologii." *Novosti teplosnabzheniya*, no. 12(135), 2011.
15. Anderson D., Tanekhill Dj., Pletcher R. *Vychislitel'naya gidromekhanika I teploobmen*. Vol. 1, Mir, 1990.
16. Jakobsen H. A. *Chemical Reactor Modeling*. Springer, 2008.
17. Peters N. *Turbulent combustion*. Cambridge University Press, 2000.
18. Surzhykov S. T. *Teplovoe izluchenie gazov i plazmy*. Izd-vo MGTU im. Baumana, 2004.
19. Fletcher K. *Vychislitel'nye metody v dinamike jydкости*. Mir, 1991.
20. Patankar S. *Chislennye metody resheniya zadach teploomena i dinamiki jydкости*. Energoatomizdat, 1984.
21. Zeldovich Ya.B., Sadovnikov P. Ya., Frank-Kamenetskii D. A. *Okislenie azota pri gorenii*. Izd-vo AN SSSR, 1947.
22. Zeldovich Ya. B., Barenblatg G. I., Librovich V. B., Makhviladze G. M. *Matematicheskaya teoriya gorenija i vzryva*. Nauka, 1980.
23. Kotler V. R., Belokov S. V. *Promyshlennno-otopitel'nye kotelnye: slyganie topliv I zaschita atmosfery*. Energotex, 2001.
24. Rosliakov V. P., Egorova L. E., Ionkin I. L. *Technologicheskie meropriyatiya po snijeniyu vrednykh vybrosov TES v atmosferu*. Izd-vo MEI, 2001.

**УДК 621.184.004**

## **Зниження викидів оксидів азоту при спалюванні підготовленої газоповітряної суміші у вихровому пальнику**

А. О. Редько<sup>1</sup>, А. О. Павловська<sup>2</sup>, А. В. Давіденко<sup>3</sup>, І. О. Редько<sup>4</sup>

<sup>1</sup>д.т.н., проф. Харківський національний університет будівництва і архітектури, м. Харків, Україна, andrey.ua-mail@ukr.net

<sup>2</sup>асп. Харківський національний університет будівництва і архітектури, м. Харків, Україна, pavlov-a-87@ukr.net

<sup>3</sup>асп. Харківський національний університет будівництва і архітектури, м. Харків, Україна, ana25.davidenko@gmail.com

<sup>4</sup>к.т.н., доц. Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, г. Харків, Україна, germes\_s2006@ukr.net

*Анотація.* Наведені результати чисельного дослідження спалювання підготовленої газоповітряної суміші ( $\alpha'_v = 0,75$ ) у вихровому пальнику. Наведені результати комп'ютерного тривимірного моделювання низько-емісійної схеми спалювання газу з урахуванням впливу конструктивних параметрів пальникових пристроїв і технологічних заходів. У розрахунках прийнято конструктивні параметри пальника: кут установки лопаток реєстра в потоку первинного повітря  $\varphi_1 = 45^\circ$  при  $\alpha'_v = 0,75$ , а кут установки лопаток у потоку вторинного повітря  $\varphi_2 = 60^\circ$ , загальний коефіцієнт надлишку повітря дорівнює  $\alpha_v = 1,10$ . Результати моделювання показують, що в процесі спалювання метану, можливе зниження викидів термічних оксидів азоту до значень 25-30 мг/м<sup>3</sup>. Виконані чисельні дослідження теплообміну й аеродинаміки водотрубних парових котлів показали можливість оцінки ефективності експлуатації пальникових пристроїв.

*Ключові слова:* чисельне дослідження, вихровий пальник, спалювання газу, оксиди азоту.

**UDC 621.184.004**

## **Decrease in nitrogen oxide emissions from the combustion of the prepared gas mixture in the swirl burner**

**A. Redko<sup>1</sup>, A. Pavlovskaja<sup>2</sup>, A. Davidenko<sup>3</sup>, I. Redko<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Sc.D, professor. Kharkiv National University of Building and Architecture, Kharkiv, Ukraine, andrey.ua-mail@ukr.net

<sup>2</sup>Post-graduate student. Kharkiv National University of Building and Architecture, Kharkiv, Ukraine, pavlov-a-87@ukr.net

<sup>3</sup>Post-graduate student. Kharkiv National University of Building and Architecture, Kharkiv, Ukraine, ana25.davidenko@gmail.com

<sup>4</sup>PhD, associate professor. O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Kharkiv, Ukraine, germes\_s2006@ukr.net

*Abstract.* The results of numerical studies prepared by the combustion of the gas mixture ( $\alpha'_v = 0.75$ ) in the vortex burner. The results of computer simulation of three-dimensional low-emission gas burning scheme taking into account the influence of the design parameters of the burners and technological activities. In the calculations made burner design parameters: the register vanes installation angle in the flow of primary air  $\varphi_1 = 45^\circ$  at  $\alpha'_v = 0.75$  and installation angle of the blades in the flow of secondary air  $\varphi_2 = 60^\circ$ , the overall excess air factor is  $\alpha_v = 1.10$ . Simulation results show that in the methane combustion may reduce the emissions of nitrogen oxides to thermal 25-30 mg/m<sup>3</sup> values. Performed numerical study of heat exchange and air dynamics of water-tube steam boilers shows possibility of estimation of operation efficiency of burners.

*Keywords:* numerical study, the vortex burner, combustion gas, nitrogen oxides.

Надійшла до редакції 30 грудня 2016 р.