

МРНТИ 44.31.35
УДК 621.18

DOI 10.52167/1609-1817-2023-126-3-423-434

А.М. Достияров¹, М.Б. Кумаргазина¹, Д.Р. Умышев¹ 

¹Алматинский университет энергетики и связи имени Г. Даукеева, Алматы, Казахстан

E - mail: d.umyshev@aes.kz

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ТОПКИ ВОДОГРЕЙНОГО КОТЛА

Аннотация. Известно, что в настоящее время Казахстан объявил о необходимости достичь высоких показателей в области энергоэффективности и экологичности. В связи с чем существует необходимость повышения экологичности и энергоэффективности в наиболее энергозатратных областях промышленности. Известно, что котлы являются наиболее распространенными источниками тепловой энергии, потребляющие большое количество ископаемого топлива. Настоящая статья посвящена исследованию новых типов котлов, имеющих цилиндрическую топку и цельносварные экраны с волнистыми трубами. В статье рассмотрены два варианта горелок – тангенциальные и прямоточные горелки. Проведены исследования влияния коэффициента избытка топлива на экологические показатели котлов. По результатам исследования показано, что котлы с тангенциальными микрофакельными горелками позволяют снизить концентрации оксидов азота до 20%, снизить гидравлические сопротивления и повысить интенсивность теплообмена за счет волнистых труб и эффективного перемешивания топливо-воздушной смеси. Представлены контур давлений, температур и скоростей в зависимости от коэффициента избытка топлива. Проведен анализ влияния вышеперечисленных факторов. Представлены зависимости оксидов азота и температур уходящих газов от типа котла и коэффициента избытка топлива. Сделаны выводы о необходимости продолжить исследования в области понижения гидравлических сопротивлений.

Ключевые слова. Водогрейный котел, горелки, топка, оксиды азота, коэффициент избытка топлива, ANSYS Fluent.

Введение.

Постоянно повышающиеся требования к энергоэффективности и вредным выбросам в Казахстане, регламентируемые рядом документов, к которым относятся Концепция по переходу к «Зеленой экономике» [1], Программа развития ТЭК [2] и другие требуют переходят к котла сжигающим газообразное топливо, которые должны иметь высокие технико-экономические показатели. В связи с этим, актуальными являются теоретические исследования процессов горения в котлах, которые могут быть использованы с целью повышения эффективности и экологичности энергетической отрасли.

В работе [3] создана математическая модель котла мощностью 1000 МВт на твердом топливе, работающем на сверхкритическом давлении. Основной идеей исследования является исследование влияния различных параметров, в частности избытка воздуха на процессы горения в новой конструкции котла. Исследования показали, что существует определенный интервал, в частности было выявлено, что при соотношении первичного воздуха 0,153, температура в топке достигает максимальных значений. Было показано, что увеличение первичного воздуха сокращает время нахождения газов в топке.

В работе [4] проведены численные исследования цилиндрической «топки» работающей на солнечной энергии. Исследования показали, что такая форма имеет

преимущества в виде низких сопротивлений и равномерного распределения температур на выходе. В работе [5] исследовался котел с использованием численного моделирования в программе ANSYS Fluent. Исследования показали, что наиболее важным является расположение горелочных устройств для обеспечения максимальной тепловой напряженности в топке. В работе [6] проведены исследования на экспериментальном стенде горизонтальной цилиндрической топки при сжигании обедненного пропана. Аналогичная работа проведена в статье [7], где в результате получены зависимости температурные неравномерности на выходном участке. В работах [8,9] проведены исследования цилиндрической топки, в которой сжигают дизель и биодизель. Исследования показали, что установка входящего регистра с лопатками повернутыми на 35° и 60° , снижает выборсы СО и НС. Установка регистра с лопатками повернутыми на 45° и 60° позволяет снизить концентрации оксидов азота. Аналогичные работы по исследованию цилиндрических топок проведены в [10,11].

В работе [12] проведены исследования цилиндрической топки, с сжигание топлива в обедненном режиме. Показано, что с увеличением закрутки потока, снижаются концентрации оксидов азота, также в статье проведены исследования влияния расстояния между горелками на концентрации оксидов азота. Показано, что при малом шаге горелок, повышаются концентрации оксидов азота, за счет отсутствия развитой зоны перемешивания топлива с воздухом. В работе [13] создана модель котла в программа Matlab с целью изучения процессов тепломассообмена и влияния таких параметров как расход топлива, коэффициент избытка топлива на КПД. В работе [14] создана модель для исследования процессов горения сопровождающейся выделением сажи. В работе [15] проведены исследования цилиндрической топки котла при сжигании неископаемого топлива. Проведенный анализ показывает, что существует необходимость создания новых типов котлов с цилиндрической топкой, позволяющих эффективно сжигать традиционной и возобновляемое топливо. В данной статье проведен численный анализ процессов горения в котле с цилиндрической топкой, проведено сравнение влияния расположения горелок.

Материалы и методы.

Для проведения численных исследований была использована программа ANSYS с модулем моделирования течения реагирующих веществ Fluent. При моделировании использовались следующие уравнения:

Уравнение сохранения энергии [17]

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho E) + \nabla \cdot (\bar{v}(\rho E + p)) = \nabla \cdot (k_{eff} \nabla T - \sum_j h_j \bar{J}_j + (\bar{v}_{eff} \bar{v})) + S_h, \quad (1.1)$$

где, E – энергия содержащаяся в потоке, k_{eff} – коэффициент теплопроводности тела J_j – коэффициент описывающий диффузионный поток, S_h – теплота выделяемая при окислении.

В уравнении (3.1) энергия определяется следующим образом [17]:

$$E = H - \frac{p}{\rho} + \frac{v^2}{2}, \quad (1.2)$$

где, энтальпия определяется как:

$$H = \sum_j Y_j h_j \quad (1.3)$$

Окончательно уравнение для не адиабатического диффузионного горения выглядит следующим образом:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho H) + \nabla \cdot (\rho \bar{v} H) = \nabla \cdot \left(\frac{k_t}{c_p} \nabla H \right) + S_h \quad (1.4)$$

где, k_t – коэффициент теплопроводности.

Большинство процессов горения в энергетике турбулентны, поэтому для моделирования горения в горелочных устройствах используются различные модели турбулентности. В частности, в программном комплексе ANSYS Fluent можно использовать несколько моделей, в данном исследовании использовалась модель k - ϵ realizable [16]. Термин «реализуемая» означает, что модель удовлетворяет определенным математическим ограничениям Рейнольдса по напряжениям, согласующиеся с физикой турбулентных течений.

Уравнение транспорта определяется следующими уравнением. Первое уравнение (1.5) определяет турбулентную кинетическую энергию k . Второе (3.6) ϵ скорость диссипации кинетической энергии [17].

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho k u_j) \\ = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - \rho \epsilon - Y_m + S_k \end{aligned} \quad (1.5)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(\rho \epsilon) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho \epsilon u_j) \\ = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] + \rho C_{1\epsilon} \epsilon - \rho C_{2\epsilon} \frac{\epsilon^2}{k + \sqrt{v \epsilon}} + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} C_{3\epsilon} G_b + S_\epsilon \end{aligned} \quad (1.6)$$

G_k – определяет генерацию турбулентной кинетической энергии в связи с градиентами скорости. G_b – определяет генерацию турбулентной кинетической энергии в связи с плавучестью данных. Y_m , $C_{1\epsilon}$, $C_{2\epsilon}$ константы, σ_k σ_ϵ – турбулентные числа Прандтля для k и ϵ соответственно. S_k , S_ϵ – числа определяемые пользователем [17].

На рисунке 1 представлен общий вид котла. Котел состоит из следующих основных элементов: 1 – топка, 2 – горелки, 3- выходная часть, 4 – цельносварные экраны с волнистыми трубами. Воздух подается с топливом и с нижней части котла. Граничные условия представлены в таблице 1. На рисунке 2 представлен способ подачи топлива.

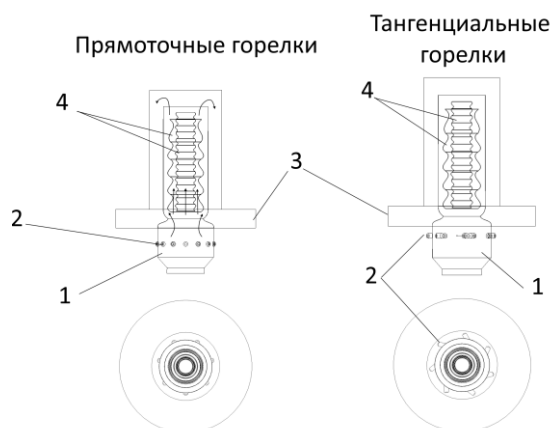


Рисунок 1 – Общий вид анализируемых котлов

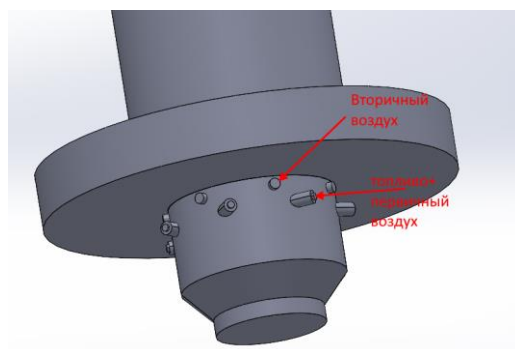


Рисунок 2 – Способ подачи топлива и воздуха

В качестве базового котла был выбран котел КВ-ТС, мощность 30 Гкал. Расход газообразного топлива равен 6480 кг/час. В расчете было принято, что температура воздуха равна 200 °С. В исследовании изменялась скорость воздуха поступающего с нижней части котла с шагом в 5 м/с.

Таблица 1 – Граничные условия

№	Параметр	Единица измерения	Значение	Примечание
1	Расход топлива	кг/с	1,8	Постоянное значение
2	Температура топлива	°С	200	
3	Скорость первичного воздуха	м/с	4	
4	Температура первичного воздуха	°С	200	
5	Скорость вторичного воздуха	м/с	5-25	Изменялся коэффициент избытка воздуха в горелке
6	Температура вторичного воздуха	°С	200	Постоянное

На рисунке 3 представлены сеточные модели котлов. Для эффективного изучения процессов течения, было приложено большое количество элементов сетки на горелочные устройства и цельносварные экраны с волнистыми трубами. Для исследования было использовано 2267059 элементов.

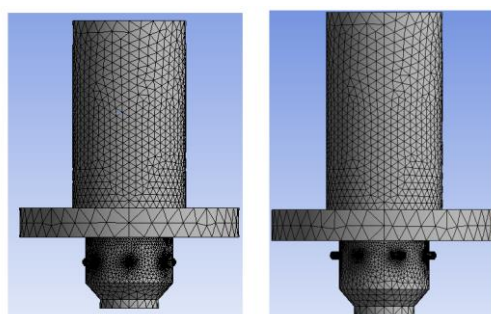


Рисунок 3 – Сеточные модели котлов

Результаты и обсуждение.

На рисунке 4 представлены контуры давлений в зависимости от коэффициента избытка воздуха. Как видно из рисунка, наибольшие давления наблюдаются в области между стенкой и экранами с волнистыми трубами. Очевидно, что поток газов проходящий через эту область подвержен гидравлическому сопротивлению, создаваемому волнистыми поверхностями. Увеличение избытка воздуха приводит к увеличению сопротивления в начальном участке экранов с волнистыми трубами. Заметно, что за топкой создает зона с низкими давлениями, что потенциально может создавать зоны высоких термических напряжений. Использование тангенциальных микрофакельных горелок позволяет несколько разгрузить внутреннюю область, осевую часть котла, и перекинуть часть газов на периферию, что заметно на всех рисунках. Заметно, что во внутренней зоне волнистых экранов при использовании тангенциальных горелок, создается прерывистые зоны относительно высоких давлений. Это потенциально снижает потерю давления на выходе и снижает расходы на дымосос.

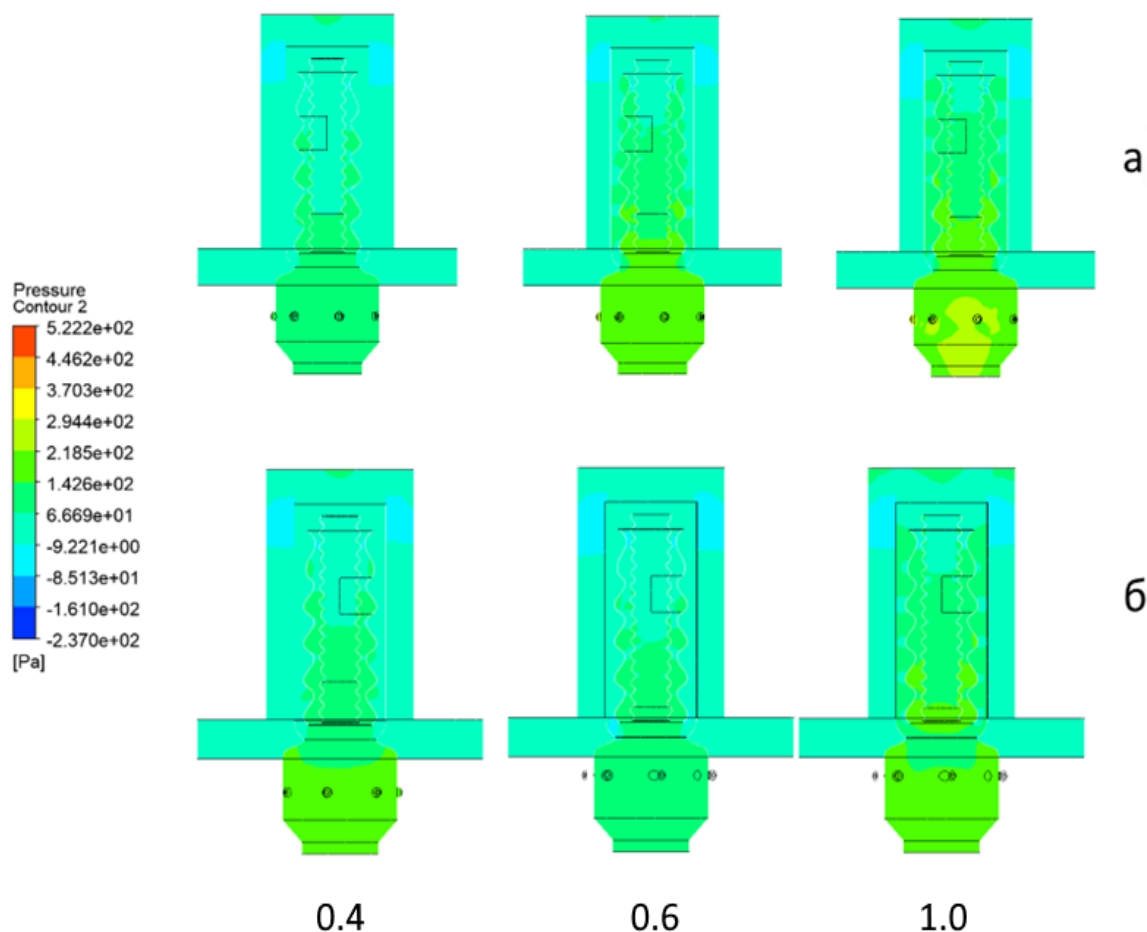


Рисунок 4 – Контурсы давлений

На рисунке 5 представлены контуры температур в зависимости от коэффициента избытка топлива в горелке. Как видно из рисунка, топка с прямоточными горелками при максимальном избытке топлива создает высокотемпературную зону на оси котла. Как видно из рисунка, при малом избытке воздуха, основная часть топлива догорает в зоне выше топки для обоих вариантов котлов. При повышении избытка воздуха в горелке повышается температура топки и достигает максимума при $\alpha=1,0$.

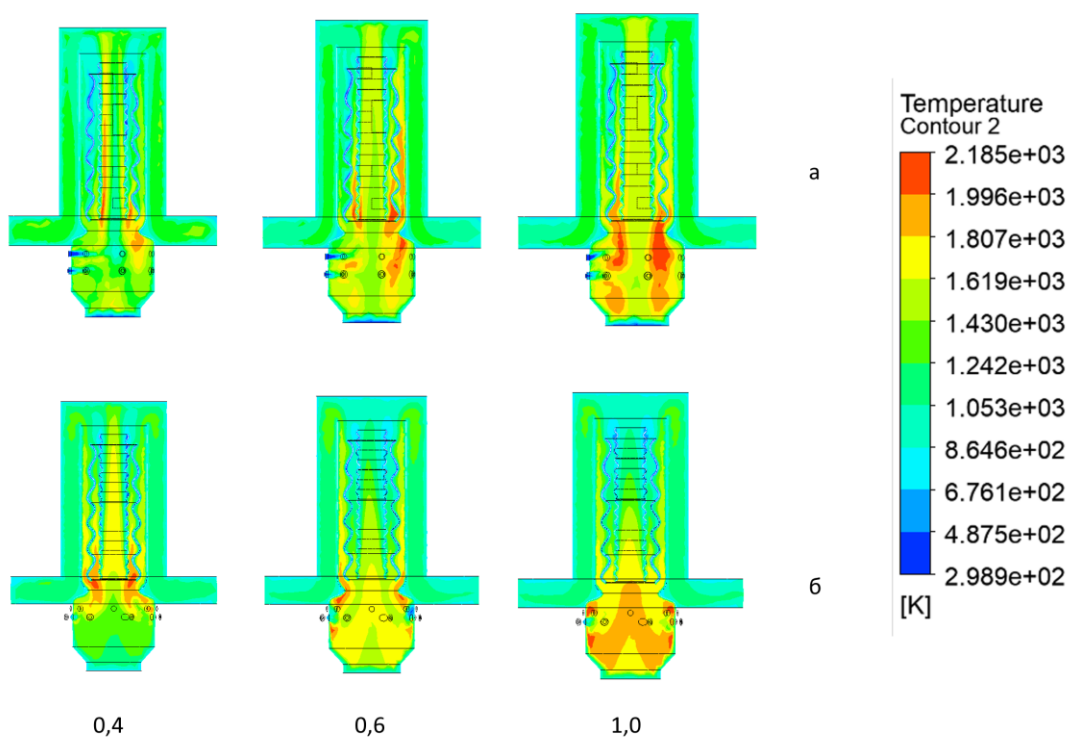


Рисунок 5 – Контуры продольных температур в зависимости от коэффициента избытка воздуха в горелке

Аналогично, картина поперечного сечения температур на высоте 8000 мм можно увидеть, что при использовании прямооточных горелок создается центральная высоко температурная зона. Снижение избытка воздуха приводит к снижению температуры, однако наблюдаются зоны с высокой температурой, являющимися основными источниками оксидов азота.

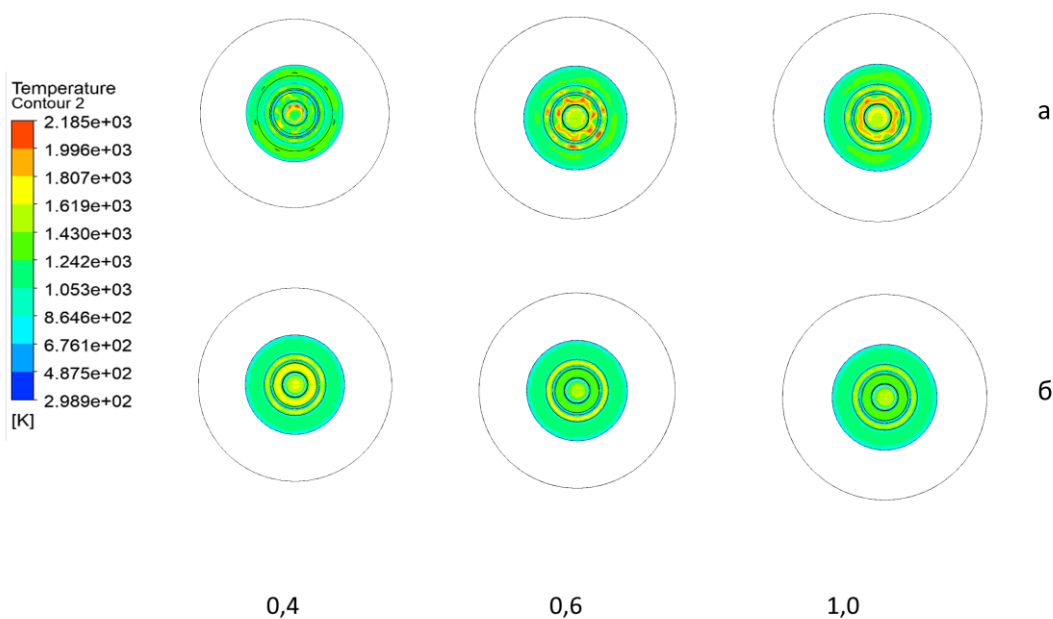


Рисунок 5 – Контуры поперечных температур в зависимости от коэффициента избытка воздуха в горелке

На рисунке 6 представлены продольные контуры скоростей в зависимости от коэффициента избытка воздуха. Как видно из рисунка, отсутствие тангенциальной закрутки приводит к созданию центрального потока топливо-воздушной смеси на оси котла. Это особенно заметно при максимальном значении коэффициента избытка воздуха.

Использование тангенциальных микрофакельных горелок позволяет более равномерно распространять топливо воздушную смесь, что не создает скоростных участков, позволяя повысить интенсивность теплообмена при том же объеме сжигаемого газа. Повышение избытка топлива в горелках приводит к более равномерному течению топливно-воздушной смеси в зоне горения.

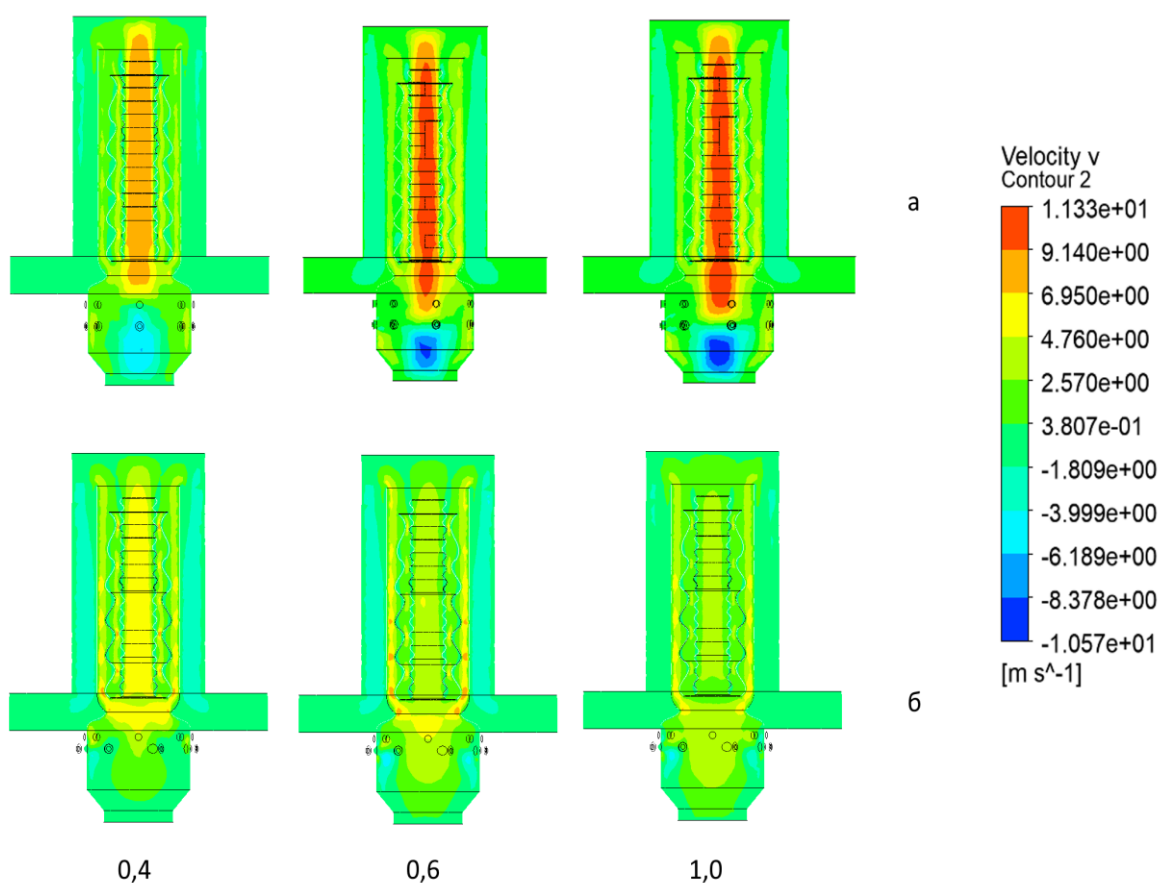


Рисунок 6 – Контурь продольных скоростей в зависимости от коэффициента избытка воздуха в горелке

На рисунке 7 представлена зависимость концентрации оксидов азота в уходящих газах от коэффициента избытка воздуха и типа горелок. Как видно из рисунка, при использовании тангенциальных горелок концентрация оксидов азота при $\alpha=0,4$, ниже на 20% чем у котла с прямоточными горелками. Это объясняется тем, что тангенциальная подача топлива, позволяет более равномерно распределить температуры, увеличить турбулентность потока, позволяющего более эффективно отдавать тепло экранам котла. Как было видно из контуров температур, увеличение избытка воздуха при прямоточных горелках создает центральную высокотемпературную зону, являющейся основным источником оксидов азота. Общее снижение концентрации объясняется увеличением массового расхода газов на выходе из зоны моделирования.

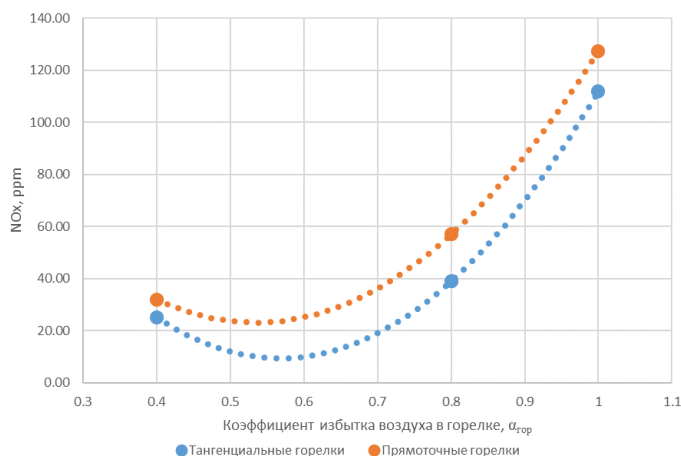


Рисунок 7 – Зависимость концентрации оксидов азота в уходящих газах от коэффициента избытка воздуха в горелке

На рисунке 8 представлена зависимость температуры уходящих газов от коэффициента избытка воздуха для двух типов котлов. Как видно из рисунка, котлы с микрофакельными горелками подающие топливо тангенциально позволяют сократить температуру уходящих газов. Это происходит за счет увеличения турбулентности потока, контактирующего с экранами топки, что как известно интенсифицирует теплообмен и позволяет повысить эффективность использования топлива. Полученные температурные зависимости подтверждают представленные выше данные о температурах в топке и концентрациях оксидов азота. Заметно, что температура для топки с тангенциальным подводом топлива имеет более линейную зависимость.

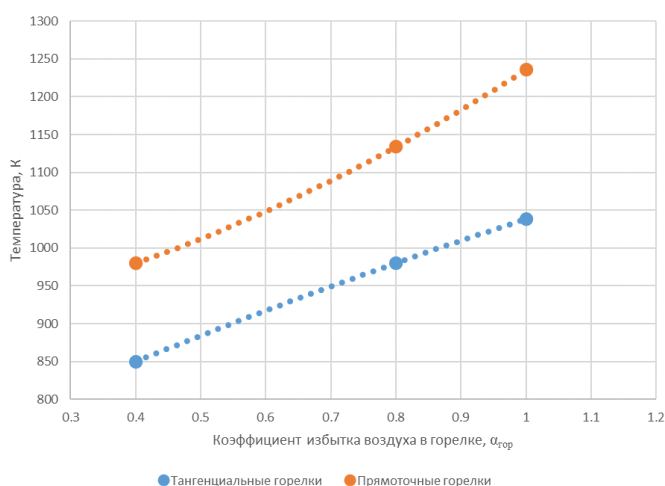


Рисунок 8 – Зависимость температуры уходящих газов от коэффициента избытка воздуха в горелке

Заклучение.

Проведенные численные исследования влияния расположения горелок и коэффициента избытка топлива позволили сделать следующие выводы:

1) Тангенциальная установка горелок позволила сократить температурные неравномерности в объеме котла, в частности в области цельносварных экранов с волнистыми трубами, а также позволила повысить интенсивность теплообмена между газами и теплоносителем;

2) Использование тангенциальных горелок позволило снизить концентрации оксидов азота в уходящих газах, за счет повышения интенсивности перемешивания топлива с воздухом, что подтверждается теоретически;

3) По контурам давлений можно увидеть об изменениях гидравлических сопротивлений по высоте.

Работа выполнена в рамках прикладного исследования ГФ Комитета науки МНВО Республики Казахстан (тема **AP14872041** - Разработка и исследование новых фронтных устройств камер сгорания ГТУ для повышения экологической безопасности и эффективности работы газотурбинных установок в Казахстане; руководитель: Достияров А.М.).

ЛИТЕРАТУРА

[1] Указ Президента Республики Казахстан от 30 мая 2013 года № 577 О Концепции по переходу Республики Казахстан к «зеленой экономике».

[2] Постановление Правительства Республики Казахстан от 28 июня 2014 года № 724 Об утверждении Концепции развития топливно-энергетического комплекса Республики Казахстан на 2022 – 2026 годы.

[3] Jing Zhou, Meng Zhu, Kai Xu, Sheng Su, Yifang Tang, Song Hu, Yi Wang, Jun Xu, Limo He, Jun Xiang, Key issues and innovative double-tangential circular boiler configurations for the 1000 MW coal-fired supercritical carbon dioxide power plant, Energy, Volume 199, 2020, 117474, ISSN 0360-5442, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117474>

[4] Gurveer Singh, Laltu Chandra, On the Flow Stability in a Circular Cylinder based Open Volumetric Air Receiver for Solar Convective Furnace, Energy Procedia, Volume 144, 2018, Pages 88-94, ISSN 1876-6102, <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.06.012>

[5] Yong Ke Wu, Marcel Lacroix, Numerical simulation of the melting of scrap metal in a circular furnace, International Communications in Heat and Mass Transfer, Volume 22, Issue 4, 1995, Pages 517-525, ISSN 0735-1933, [https://doi.org/10.1016/0735-1933\(95\)00037-Y](https://doi.org/10.1016/0735-1933(95)00037-Y)

[6] Kin-Pang Cheong, Guochang Wang, Jicang Si, Jianchun Mi, Nonpremixed MILD combustion in a laboratory-scale cylindrical furnace: Occurrence and identification, Energy, Volume 216, 2021, 119295, ISSN 0360-5442, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.119295>

[7] Magda Joachimiak, Damian Joachimiak, Michał Ciałkowski, Leszek Małdziński, Piotr Okoniewicz, Karolina Ostrowska, Analysis of the heat transfer for processes of the cylinder heating in the heat-treating furnace on the basis of solving the inverse problem, International Journal of Thermal Sciences, Volume 145, 2019, 105985, ISSN 1290-0729, <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2019.105985>

[8] Mohsen Amiri, Alireza Shirneshan, Effects of air swirl on the combustion and emissions characteristics of a cylindrical furnace fueled with diesel-biodiesel-n-butanol and diesel-biodiesel-methanol blends, Fuel, Volume 268, 2020, 117295, ISSN 0016-2361, <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.117295>

[9] Navid Motamedifar, Alireza Shirneshan, An experimental study of emission characteristics from cylindrical furnace: Effects of using diesel-ethanol-biodiesel blends and air swirl, Fuel, Volume 221, 2018, Pages 233-239, ISSN 0016-2361, <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.01.018>

[10] Oula M.H. Fatla, Agustin Valera-Medina, Fiona Robinson, Mark Cichuta, Nathan Beynon, Development of convection in high temperature coil annealing furnaces using rotating cylinder technique, Applied Thermal Engineering, Volume 129, 2018, Pages 1392-1402, ISSN 1359-4311, <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.10.136>

[11] Mojahid Saeed Osman, Bala Ram, Funda Samanlioglu, Efficient approaches for furnace loading of cylindrical parts, Applied Mathematical Modelling, Volume 38, Issue 4, 2014, Pages 1548-1562, ISSN 0307-904X, <https://doi.org/10.1016/j.apm.2013.08.032>

[12] Kin-Pang Cheong, Guochang Wang, Bo Wang, Rong Zhu, Wei Ren, Jianchun Mi, Stability and emission characteristics of nonpremixed MILD combustion from a parallel-jet burner in a cylindrical furnace, *Energy*, Volume 170, 2019, Pages 1181-1190, ISSN 0360-5442, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.12.146>

[13] Sathiya Gunasegran, Abbas Azarpour, Numerical Analysis of Influential Parameters on the Performance of Vertical-Cylindrical Refinery Furnaces, *Procedia Engineering*, Volume 148, 2016, Pages 963-969, ISSN 1877-7058, <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.06.478>

[14] Habib Farhat, Rachid Méchi, Rachid Saïd, New optical exchange gap concept to calculate self-irradiance direct exchange areas in cylindrical industrial furnaces, *Applied Mathematical Modelling*, Volume 40, Issues 5–6, 2016, Pages 4044-4056, ISSN 0307-904X, <https://doi.org/10.1016/j.apm.2015.11.002>

[15] Moh'd Abu-Qudais, Performance and emissions characteristics of a cylindrical water cooled furnace using non-petroleum fuel, *Energy Conversion and Management*, Volume 43, Issue 5, 2002, Pages 683-691, ISSN 0196-8904, [https://doi.org/10.1016/S0196-8904\(01\)00034-6](https://doi.org/10.1016/S0196-8904(01)00034-6)

[16] ANSYS Fluent Theory Guide, ANSYS, Inc., 275 Technology Drive Canonsburg, PA 15317, November 2013.

[17] Дуйсенбек, Ж.С. Разработка и исследование горелочных устройств на базе микрофакельного сжигания для решения экологических задач: дис. ... PhD: 6D071700: защищена 24.12.2021: утв. 27.04.2022. - Алматы., 2021. - 101 с.

REFERENCES*

[1] Decree of the President of the Republic of Kazakhstan dated May 30, 2013 No. 577 On the Concept for the Transition of the Republic of Kazakhstan to a "green economy".

[2] Resolution of the Government of the Republic of Kazakhstan dated June 28, 2014 No. 724 on approval of the Concept of Development of the Fuel and energy complex of the Republic of Kazakhstan for 2022-2026.

[3] Jing Zhou, Meng Zhu, Kai Xu, Sheng Su, Yifang Tang, Song Hu, Yi Wang, Jun Xu, Limo He, Jun Xiang, Key issues and innovative double-tangential circular boiler configurations for the 1000 MW coal-fired supercritical carbon dioxide power plant, *Energy*, Volume 199, 2020, 117474, ISSN 0360-5442, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117474>

[4] Gurveer Singh, Laltu Chandra, On the Flow Stability in a Circular Cylinder based Open Volumetric Air Receiver for Solar Convective Furnace, *Energy Procedia*, Volume 144, 2018, Pages 88-94, ISSN 1876-6102, <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.06.012>

[5] Yong Ke Wu, Marcel Lacroix, Numerical simulation of the melting of scrap metal in a circular furnace, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, Volume 22, Issue 4, 1995, Pages 517-525, ISSN 0735-1933, [https://doi.org/10.1016/0735-1933\(95\)00037-Y](https://doi.org/10.1016/0735-1933(95)00037-Y)

[6] Kin-Pang Cheong, Guochang Wang, Jicang Si, Jianchun Mi, Nonpremixed MILD combustion in a laboratory-scale cylindrical furnace: Occurrence and identification, *Energy*, Volume 216, 2021, 119295, ISSN 0360-5442, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.119295>

[7] Magda Joachimiak, Damian Joachimiak, Michał Ciałkowski, Leszek Małdziński, Piotr Okoniewicz, Karolina Ostrowska, Analysis of the heat transfer for processes of the cylinder heating in the heat-treating furnace on the basis of solving the inverse problem, *International Journal of Thermal Sciences*, Volume 145, 2019, 105985, ISSN 1290-0729, <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2019.105985>

[8] Mohsen Amiri, Alireza Shirneshan, Effects of air swirl on the combustion and emissions characteristics of a cylindrical furnace fueled with diesel-biodiesel-n-butanol and diesel-biodiesel-methanol blends, *Fuel*, Volume 268, 2020, 117295, ISSN 0016-2361, <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.117295>

[9] Navid Motamedifar, Alireza Shirneshan, An experimental study of emission characteristics from cylindrical furnace: Effects of using diesel-ethanol-biodiesel blends and air swirl, *Fuel*, Volume 221, 2018, Pages 233-239, ISSN 0016-2361, <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.01.018>

[10] Oula M.H. Fatla, Agustín Valera-Medina, Fiona Robinson, Mark Cichuta, Nathan Beynon, Development of convection in high temperature coil annealing furnaces using rotating cylinder technique, *Applied Thermal Engineering*, Volume 129, 2018, Pages 1392-1402, ISSN 1359-4311, <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.10.136>

[11] Mojahid Saeed Osman, Bala Ram, Funda Samanlioglu, Efficient approaches for furnace loading of cylindrical parts, *Applied Mathematical Modelling*, Volume 38, Issue 4, 2014, Pages 1548-1562, ISSN 0307-904X, <https://doi.org/10.1016/j.apm.2013.08.032>

[12] Kin-Pang Cheong, Guochang Wang, Bo Wang, Rong Zhu, Wei Ren, Jianchun Mi, Stability and emission characteristics of nonpremixed MILD combustion from a parallel-jet burner in a cylindrical furnace, *Energy*, Volume 170, 2019, Pages 1181-1190, ISSN 0360-5442, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.12.146>

[13] Sathiya Gunasegran, Abbas Azarpour, Numerical Analysis of Influential Parameters on the Performance of Vertical-Cylindrical Refinery Furnaces, *Procedia Engineering*, Volume 148, 2016, Pages 963-969, ISSN 1877-7058, <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.06.478>

[14] Habib Farhat, Rachid Méchi, Rachid Saïd, New optical exchange gap concept to calculate self-irradiance direct exchange areas in cylindrical industrial furnaces, *Applied Mathematical Modelling*, Volume 40, Issues 5–6, 2016, Pages 4044-4056, ISSN 0307-904X, <https://doi.org/10.1016/j.apm.2015.11.002>

[15] Moh'd Abu-Qudais, Performance and emissions characteristics of a cylindrical water cooled furnace using non-petroleum fuel, *Energy Conversion and Management*, Volume 43, Issue 5, 2002, Pages 683-691, ISSN 0196-8904, [https://doi.org/10.1016/S0196-8904\(01\)00034-6](https://doi.org/10.1016/S0196-8904(01)00034-6)

[16] ANSYS Fluent Theory Guide, ANSYS, Inc., 275 Technology Drive Canonsburg, PA 15317, November 2013.

[17] Duissenbeck, J.S. Development and research of burner devices based on microfakel combustion for solving environmental problems: dis. ... PhD: 6D071700: protected 24.12.2021: approved 27.04.2022. - Almaty., 2021. - 101 p.

Абай Достияров, т. ғ. д., профессор, Ғ.Даукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы, Қазақстан, dost51@mail.ru

Мадина Кумаргазина, докторант, Ғ.Даукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы, Қазақстан, kumargazina.madina@gmail.com

Диас Умышев, PhD, қауымдастырылған профессор, Ғ.Даукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы, Қазақстан, umishev_d@mail.ru

СУ ҚАЗАНДЫН ЦИЛИНДРЛІК ПЕШТІ САНДЫҚ ЗЕРТТЕУ

Аңдатпа. Қазіргі уақытта Қазақстан энергия тиімділігі мен экологиялық тазалық саласында жоғары көрсеткіштерге қол жеткізу қажеттігін жариялағаны белгілі. Осыған байланысты өнеркәсіптің энергияны көп тұтынатын салаларында экологиялық тазалық пен энергия тиімділігін арттыру қажеттілігі туындайды. Қазандықтар көп мөлшерде қазба отын тұтынатын жылу энергиясының ең көп таралған көзі екені белгілі. Бұл мақала цилиндрлік пеші бар қазандықтардың жаңа түрлерін және гофрленген құбырлары бар барлық дәнекерленген экрандарды зерттеуге арналған. Мақалада қыздырғыштардың екі

нұсқасы қарастырылады - тангенциалды және тікелей ағынды оттықтар. Артық отын коэффициентінің қазандықтардың экологиялық көрсеткіштеріне әсер етуіне зерттеулер жүргізілді. Зерттеу нәтижелері бойынша тангенциалды микро алау оттықтары бар қазандықтар гофрленген құбырлар мен отын-ауаны тиімді араластыру есебінен азот оксидтерінің концентрациясын 20%-ға дейін төмендетуге, гидравликалық кедергіні төмендетуге және жылу беру қарқындылығын арттыруға болатыны көрсетілді. қоспасы. Артық отын қатынасына байланысты қысымдардың, температуралардың және жылдамдықтардың контуры ұсынылған. Жоғарыда аталған факторлардың әсері талданды. Азот оксидтері мен түтін газдарының температурасының қазандық түріне және отынның артық коэффициентіне тәуелділігі келтірілген. Гидравликалық кедергіні төмендету саласындағы зерттеулерді жалғастыру қажеттілігі туралы қорытындылар жасалады.

Түйінді сөздер. Ыстық су қазандығы, оттықтар, пеш, азот оксидтері, отынның артық коэффициенті, ANSYS Fluent.

Абай Достияров, д.т.н., профессор, Алматинский университет энергетика и связи имени Г. Даукеева, Алматы, Казахстан, dost51@mail.ru

Мадина Кумаргазина, докторант, Алматинский университет энергетика и связи имени Г. Даукеева, Алматы, Казахстан, kumargazina.madina@gmail.com

Диас Умышев, PhD, ассоциированный профессор, Алматинский университет энергетика и связи имени Г. Даукеева, Алматы, Казахстан, umishev_d@mail.ru

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ТОПКИ ВОДОГРЕЙНОГО КОТЛА

Аннотация. Известно, что в настоящее время Казахстан объявил о необходимости достичь высоких показателей в области энергоэффективности и экологичности. В связи с чем существует необходимость повышения экологичности и энергоэффективности в наиболее энергозатратных областях промышленности. Известно, что котлы являются наиболее распространенными источниками тепловой энергии, потребляющие большое количество ископаемого топлива. Настоящая статья посвящена исследованию новых типов котлов, имеющих цилиндрическую топку и цельносварные экраны с волнистыми трубами. В статье рассмотрены два варианта горелок – тангенциальные и прямоточные горелки. Проведены исследования влияния коэффициента избытка топлива на экологические показатели котлов. По результатам исследования показано, что котлы с тангенциальными микрофакельными горелками позволяют снизить концентрации оксидов азота до 20%, снизить гидравлические сопротивления и повысить интенсивность теплообмена за счет волнистых труб и эффективного перемешивания топливовоздушной смеси. Представлены контур давлений, температур и скоростей в зависимости от коэффициента избытка топлива. Проведен анализ влияния вышеперечисленных факторов. Представлены зависимости оксидов азота и температур уходящих газов от типа котла и коэффициента избытка топлива. Сделаны выводы о необходимости продолжить исследования в области понижения гидравлических сопротивлений.

Ключевые слова. Водогрейный котел, горелки, топка, оксиды азота, коэффициент избытка топлива, ANSYS Fluent.
