

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ГОРЕНИЯ ИЗБЫТКОВ ГОРЮЧИХ ГАЗОВ В  
ГАЗОСБРОСНЫХ УСТРОЙСТВАХ ПРИ СНИЖЕНИИ ТРЕБУЕМОЙ  
ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ НА ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ  
МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА**

**SIMULATION OF COMBUSTION OF EXCESS COMBUSTIBLE GASES IN  
GAS DISCHARGE DEVICES WHILE REDUCING THE REQUIRED  
ELECTRIC LOAD IN THERMAL POWER PLANTS OF METALLURGICAL  
PRODUCTION**

©2025

**Губарев Василий Яковлевич**, кандидат технических наук, заведующий  
кафедрой промышленной теплоэнергетики

**Ярцев Алексей Геннадьевич<sup>1</sup>**, кандидат технических наук, доцент  
кафедры промышленной теплоэнергетики

**Бавыкин Михаил Антонович**, аспирант кафедры промышленной  
теплоэнергетики

**Gubarev Vasily Yakovlevich**, Candidate of Technical Sciences,  
Head of the Department of Industrial Heat Power Engineering

**Yartsev Aleksey Gennadyevich<sup>1</sup>**, Candidate of Technical Sciences,  
Associate Professor of the Department of Industrial Heat Power Engineering

**Bavykin Mikhail Antonovich**, Postgraduate Student of the Department of Industrial  
Heat Power Engineering

*Липецкий государственный технический университет, Липецк (Россия)  
Lipetsk State Technical University, Lipetsk (Russia)*

**E-mail: gvlipetsk@yandex.ru**

**E-mail: yartsev.ag@yandex.ru**

**E-mail: bavykin.mikhail@yandex.ru**

<sup>1</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5435-0212>

**Аннотация:** Актуальность данной работы объясняется необходимостью установки газо-сбросных устройств, обеспечивающих безопасное и максимально полное сжигание утилизируемых газов. С помощью программного комплекса ANSYS было проведено компьютерное моделирование процесса горения доменного и коксового газов, целью которого было определение остаточной концентрации горючих компонентов сбрасываемых газов. Полученные результаты позволяют сделать вывод о возможности применения рассматриваемой конструкции газосбросного устройства.

**Ключевые слова:** доменный газ, коксовый газ, горение, топливо, газосбросное устройство, компьютерное моделирование, ANSYS.

**Для цитирования:** Губарев В.Я. Моделирование горения избытков горючих газов в газосбросных устройствах при снижении требуемой электрической нагрузки на тепловых электростанциях металлургического производства / В.Я. Губарев, А.Г. Ярцев, М.А. Бавыкин // Вести высших учебных заведений Черноземья. – 2025. – Т. 21, № 3 (79). – С. 10–18. – DOI 10.53015/18159958\_2025\_21\_3\_10.

**Abstract:** The relevance of this work is explained by the need to install gas discharge devices that ensure safe and maximally complete combustion of recyclable gases. With the help of the ANSYS software package, a computer simulation of the combustion process of blast furnace and coke oven gases was carried out, the purpose of which was to determine the residual concentration of the combustible components of the discharged gases. The results obtained allow us to conclude that the considered design of the gas discharge device can be used.

**Keywords:** blast furnace gas, coke oven gas, combustion, fuel, gas discharge device, computer simulation, ANSYS.

**For citation:** Gubarev V.Ya. Simulation of combustion of excess combustible gases in gas discharge devices while reducing the required electric load in thermal power plants of metallurgical production / V.Ya. Gubarev, A.G. Yartsev, M.A. Bavykin // Vesti of Higher Educational Institutions of the Chernozem region. – 2025. – Vol. 21, № 3 (79). – P. 10–18. – DOI 10.53015/18159958\_2025\_21\_3\_10.

## ВВЕДЕНИЕ

Металлургическое производство включает в себя множество процессов, в части из которых побочными продуктами являются вторичные энергетические ресурсы, такие как доменный и коксовый газы. Доменный газ образуется в доменных печах в процессе восстановления железа из железорудного сырья. В результате взаимодействия кокса, железорудных материалов и флюсов при высоких температурах образуется газ, состоящий преимущественно из азота, монооксида углерода, углекислого газа, а также небольшого количества водорода и метана [1–3].

Коксовый газ образуется при коксовании каменного угля в коксовых печах. В процессе нагрева угля без доступа воздуха до высоких температур (около 1000 °С) образуются летучие вещества, в том числе коксовый газ. Основными компонентами коксового газа являются водород, метан, монооксид углерода и азот [4–6].

Доменный и коксовый газ обладают значительным энергетическим потенциалом и широко используются в качестве топлива на утилизационных ТЭС, для нагревательных печей, сушильных установок и других технологических устройств. В случае снижения требуемой электрической нагрузки котельные установки ТЭС переходят на режим с меньшей паропроизводительностью, т. е. потребляют меньшее количество топлива. Так как выход доменного и коксового газа из печей не меняется, это приводит к росту давления в газопроводах и далее может привести к возникновению аварийных ситуаций на предприятии.

В связи с этим все предприятия, связанные с производством и транспортировкой горючих газов, должны устанавливать газосбросные устройства, целью которых является эффективное и безопасное сжигание сбрасываемых газов с минимальным воздействием на окружающую среду. Одними из основных требований, предъявляемых к газосбросным устройствам, служат [7–8]:

1. Эффективность сжигания: устройства должны обеспечивать полное или максимально возможное сжигание сбрасываемых газов. Это достигается за счет оптимизации конструкции горелки, обеспечения достаточного времени пребывания газов в зоне высоких температур и подачи необходимого количества воздуха.

2. Безопасность: конструкция газосбросного устройства должна исключать возможность образования взрывоопасных концентраций газа вне зоны горения, обеспечивать устойчивое горение при различных расходах газа и исключать заброс пламени обратно в технологическое оборудование.

3. Экологичность: устройства должны обеспечивать минимальные выбросы загрязняющих веществ, таких как оксиды азота, оксид углерода и твердые частицы.

Целью данной работы является компьютерное моделирование процесса горения доменного и коксового газов на выходе из газосбросного устройства, получение контуров распределения концентраций компонентов продуктов сгорания по высоте факела и на плоскости выходного сечения расчетной области; оценка концентраций компонентов продуктов сгорания на выходе из расчетной области модели.

## ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ РАСЧЁТОВ

Принятая для расчета конструкция газосбросного устройства состоит из шести горелок, к каждой из которых подводится газопровод диаметром 920 мм. Каждая горелка снабжена шестью запальниками. Во избежание воздействия таких атмосферных факторов, как ветер, дождь и снег, установлены дефлекторы диаметром 2156 мм. Центры горелок расположены равноудаленно друг от друга на окружности диаметром 5092 мм.

Для моделирования процесса горения газов и поведения факела была создана область атмосферы, которая представляет собой цилиндр диаметром 12 м и высотой 30 м.

Геометрическая модель для расчета процесса горения избытков доменного и коксового газов представлена на рис. 1.

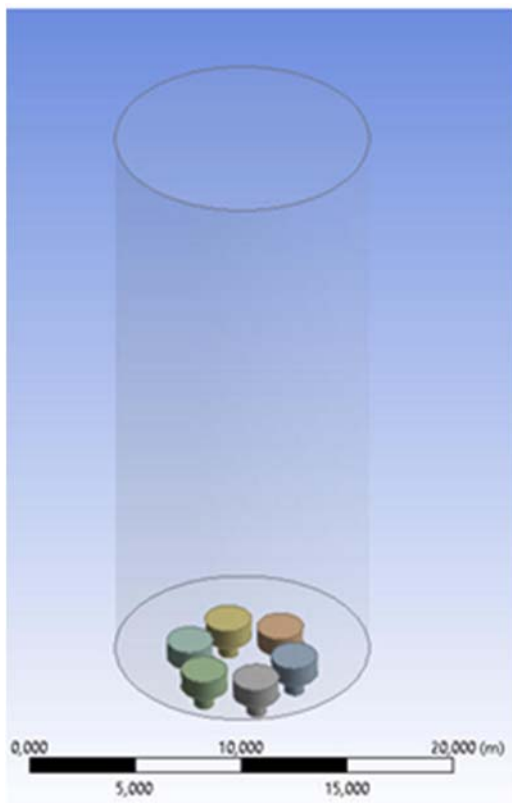


Рис. 1. Геометрическая модель  
Fig. 1. Geometric model

Данная конструкция газосбросного устройства спроектирована на сжигание максимального расхода доменного газа в количестве 200 тыс. м<sup>3</sup>/ч и коксового газа с

максимальным расходом 60 тыс. м<sup>3</sup>/ч. При этом из шести горелок четыре предназначены для сжигания доменного газа, а две – для сжигания коксового газа.

Для расчета было принято условие, что доменный и коксовый газ сжигаются отдельно друг от друга, т. е. проводилось моделирование горения доменного газа на четырех горелках, а затем моделирование горения коксового газа на двух горелках.

Был принят следующий объемный состав доменного газа [9]:

- Метан CH<sub>4</sub> – 0,3 %;
- Окись углерода CO – 28 %;
- Двуокись углерода CO<sub>2</sub> – 10,5 %;
- Азот N<sub>2</sub> – 58,5 %;
- Водород H<sub>2</sub> – 2,7 %.

Объемный состав коксового газа [9]:

- Метан CH<sub>4</sub> – 25 %;
- Этан C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> – 2 %;
- Окись углерода CO – 7 %;
- Двуокись углерода CO<sub>2</sub> – 3 %;
- Азот N<sub>2</sub> – 4 %;
- Кислород O<sub>2</sub> – 1 %;
- Водород H<sub>2</sub> – 58 %.

Моделирование горения доменного и коксового газов проводилось в программном комплексе ANSYSFluent [10–11]. Для этого была выбрана модель горения без предварительного перемешивания компонентов (Non-Premixed Combustion), учитывалось уравнение энергии, вязкость потока (модель Standard k-epsilon) и излучение (модель P1).

## РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ГОРЕНИЯ ДОМЕННОГО ГАЗА

При моделировании горения доменного газа следует отметить его низкую теплотворную способность, которая обусловлена высоким содержанием азота и диоксида углерода в составе. Также следует отметить, что для оптимального сжигания доменного газа воздух и топливо следует подавать в примерно равном соотношении.

Рассмотрим результаты моделирования горения доменного газа на выходе из газосбросного устройства. На рис. 2 и 3 представлены контуры распределения CO по высоте и по сечению на выходе из расчетной области (30 м от уровня горелок).

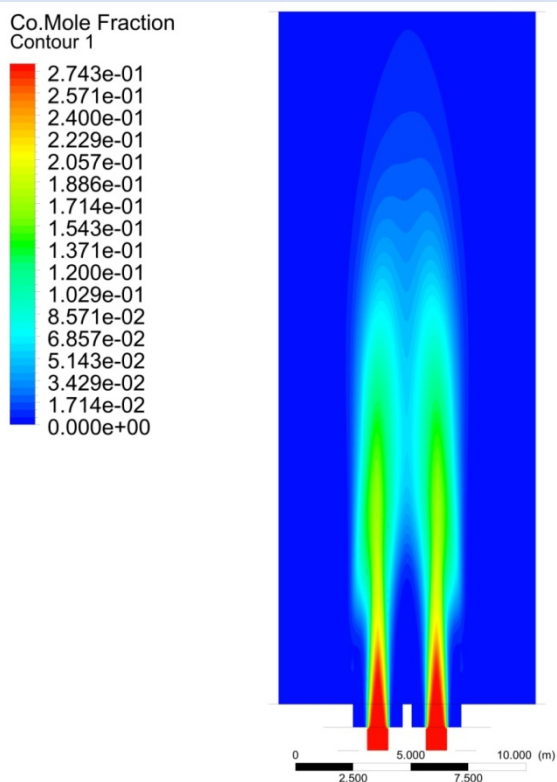


Рис. 2. Распределение концентрации CO по высоте на срезе по сечению горелок при сжигании доменного газа  
Fig. 2. Distribution of the CO concentration in height at the cross-section of the burners during the combustion of blast furnace gas

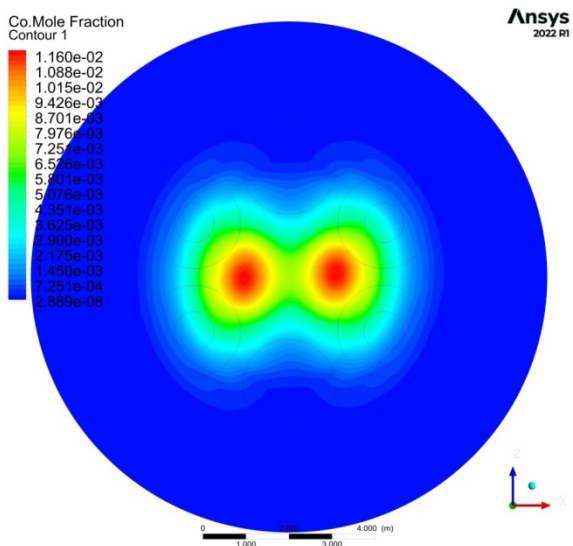


Рис. 3. Распределение концентрации CO на выходе из расчетной области при сжигании доменного газа  
Fig.3. Distribution of CO concentration at the outlet of the calculated area during blast furnace gas combustion

Максимальная концентрация основного горючего компонента доменного газа – окиси углерода CO – на выходе из расчётной области составляет 1,19 %.

Так как в настоящее время большинство компаний, в том числе металлургических производств, уделяют внимание углеродному следу — количеству парниковых газов [12–13] (в первую очередь углекислого газа), которые образуются в результате деятельности предприятия [14–15], то необходимо проанализировать количество CO<sub>2</sub>, образующегося при сжигании избытков газа на газосборных устройствах.

На рис. 4 и 5 представлены контуры распределения CO<sub>2</sub> по высоте расчетной области и по сечению на выходе из расчетной области (30 м от уровня горелок).

Максимальная концентрация углекислого газа на выходе из расчётной области составляет 22,35 %.

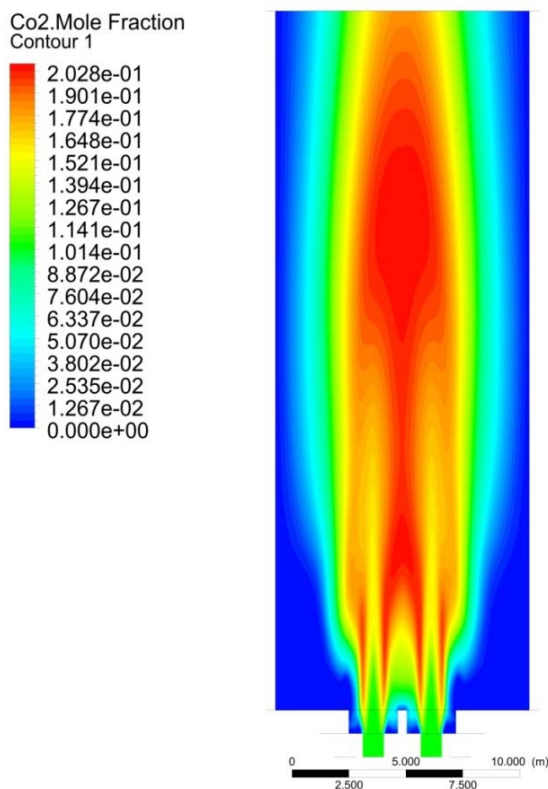


Рис. 4. Распределение концентрации CO<sub>2</sub> по высоте на срезе по сечению горелок при сжигании доменного газа  
Fig.4. Distribution of CO<sub>2</sub> concentration by height on the cross-section of the burners during the combustion of blast furnace gas

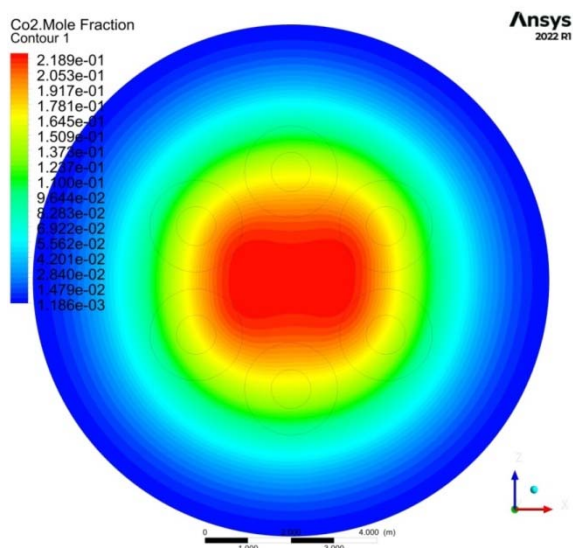


Рис. 5. Распределение концентрации CO<sub>2</sub> на выходе из расчетной области при сжигании доменного газа

Fig. 5. Distribution of CO<sub>2</sub> concentration at the outlet of the calculated area during blast furnace gas combustion

Распределение концентраций CO и CO<sub>2</sub> на выходе из расчётной области представлено в виде графика на рис. 6.

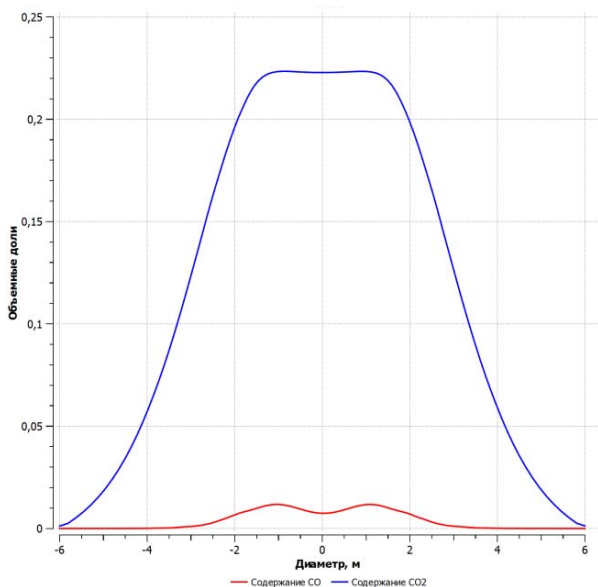


Рис. 6. График распределения концентраций CO и CO<sub>2</sub> по диаметру выходного сечения расчётной области при сжигании доменного газа

Fig. 6. Graph of the distribution of CO and CO<sub>2</sub> concentrations by the diameter of the outlet section of the calculated area during blast furnace gas combustion

Отметим также, что максимальная концентрация других горючих компонентов, входящих в исходный состав доменного газа, водорода H<sub>2</sub> и метана CH<sub>4</sub>, составляет 0,045 % и 0,00005 % соответственно.

Среднее содержание горючих компонентов в продуктах сгорания доменного газа составляет: CO – 0,1609 %; H<sub>2</sub> – 0,0066 %; CH<sub>4</sub> – 0,000004 %. Среднее содержание углекислого газа CO<sub>2</sub> – 10,89 %.

По результатам моделирования можно сделать вывод, что данная конструкция газосбросного устройства позволяет осуществлять сжигание большей части горючих компонентов. Доля сжигаемых на устройстве горючих компонентов составила: CO – 99,43 %; H<sub>2</sub> – 99,76 %; CH<sub>4</sub> – 99,99 %.

## РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ГОРЕНИЯ КОКСОВОГО ГАЗА

Коксовый газ обладает заметно большей теплотой сгорания, по сравнению с доменным газом, то есть является более ценным побочным продуктом. Поэтому возможный максимальный расход коксового газа для сжигания на газосбросном устройстве значительно меньше, чем для доменного газа. Поэтому конструкция газосбросного устройства предполагает дожигание коксового газа только на двух горелках.

Рассмотрим результаты моделирования горения коксового газа на выходе из газосбросного устройства. Так как контуры распределения горючих компонентов по высоте и по сечению на выходе из расчетной области имеют похожую картину и отличаются только значениями концентраций, то рассмотрим распределение только для основного горючего компонента – водорода.

На рис. 7 представлены контуры распределения концентрации водорода по высоте расчетной области, на рис. 8 контуры распределения концентрации H<sub>2</sub> по сечению на выходе из расчетной области (30 м от уровня горелок).

Максимальная концентрация основного горючего компонента коксового газа – водорода H<sub>2</sub> – на выходе из расчётной области составляет 5,89 %; максимальная концентрация метана CH<sub>4</sub> составляет 2,46 %.

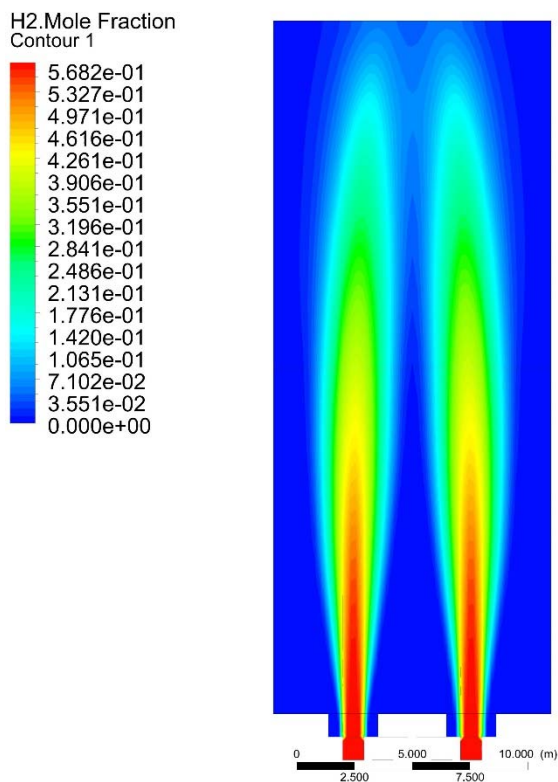


Рис. 7. Распределение концентрации H<sub>2</sub> по высоте на срезе по сечению горелок при сжигании коксового газа

Fig. 7. Distribution of the H<sub>2</sub> concentration in height at the cross-section of the burners during the combustion of coke oven gas

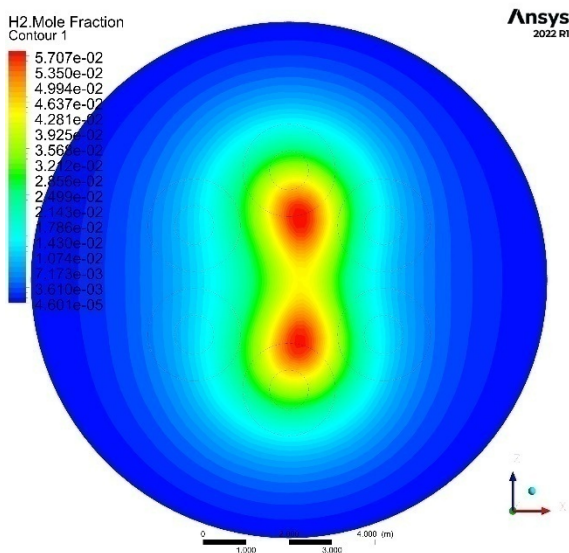


Рис. 8. Распределение концентрации H<sub>2</sub> на выходе из расчетной области при сжигании коксового газа

Fig.8. Distribution of H<sub>2</sub> concentration at the outlet of the calculated area during coke oven gas combustion

Среднее содержание основных горючих компонентов коксового газа в продуктах сгорания составляет: H<sub>2</sub> – 1,57 %; CH<sub>4</sub> – 0,65 %.

Аналогично расчету для доменного газа были получены распределения концентраций CO и CO<sub>2</sub> на выходе из расчётной области, которые представлены в виде графика на рис. 9.

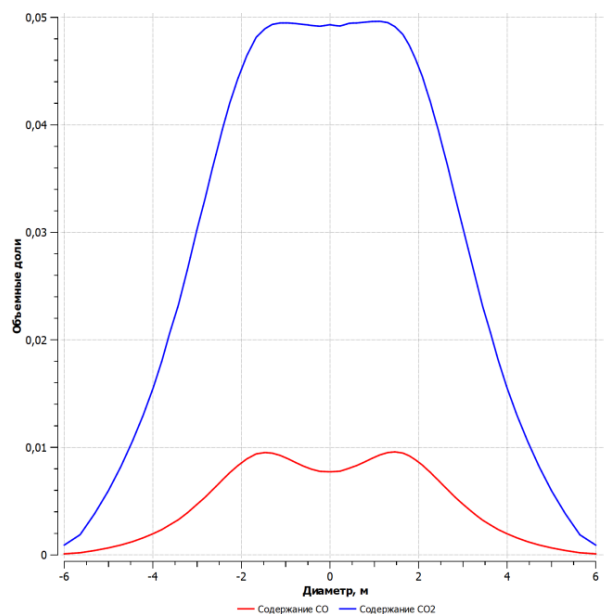


Рис. 9. График распределения концентраций CO и CO<sub>2</sub> по диаметру выходного сечения расчётной области при сжигании коксового газа

Fig. 9. Graph of the distribution of CO and CO<sub>2</sub> concentrations by the diameter of the outlet section of the calculated area during coke oven gas combustion

Максимальная концентрация углекислого газа на выходе из расчётной области составляет 5,16 %; окиси углерода – 0,99 %.

Среднее содержание CO и CO<sub>2</sub> составляет 0,29 % и 2,15 % соответственно.

Результаты компьютерного моделирования процесса сжигания коксового газа позволяют сделать вывод о возможности применения данной конструкции газосбросного устройства. Доля сжигаемых на устройстве горючих компонентов коксового газа по результатам моделирования составила: H<sub>2</sub> – 97,29 %; CH<sub>4</sub> – 97,4 %; CO – 95,86 %.

Меньший процент дожигания горючих компонентов коксового газа, по сравнению с доменным газом, можно объяснить приня-

тым условием применения только двух горелок для сжигания коксового газа, по сравнению с четырьмя для доменного газа. Так как в коксовом газе более высокая концентрация горючих компонентов, то для полного их сгорания требуется большее количество подводимого воздуха, следовательно, следует рассмотреть вариант увеличения числа горелок для сжигания коксового газа.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе были представлены результаты компьютерного моделирования процесса горения доменного и коксового газов на выходе из газосбросного устройства.

Полученные контуры распределения концентраций горючих компонентов по высоте и по сечению на выходе из расчетной области позволяют сделать вывод о возможности применения рассматриваемой конструкции газосбросного устройства для дожига избытков доменного и коксового газа.

Для доменного газа доля сжигаемых на рассматриваемом газосбросном устройстве горючих компонентов составила для окиси углерода 99,43 %; для водорода 99,76 %; для метана 99,99 %. Для коксового газа эти показатели составляют 95,86 %, 97,29 %, 97,4 % соответственно.

Меньшая доля сгорания горючих элементов коксового газа обусловлена более высокой исходной концентрацией этих компонентов, а также отличием в количестве принятых для моделирования горелок газосбросного устройства – две для коксового газа против четырёх у доменного.

В дальнейших работах планируется рассмотреть вопрос об определении оптимального количества горелок при дожигании доменного и коксового газов для достижения минимальной концентрации горючих компонентов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Padwal M. Kinetic Modeling of the Premixed Combustion of Blast Furnace Gas and Effects of Variable Compositions // *Industrial & Engineering Chemistry Research*. 2022. № 61. P. 9658-9666
2. Arroyo J., Perez L., Cuervo-Pinera V. CFD Modeling and Validation of Blast Furnace Gas/Natural Gas Mixture Combustion in an Experimental Industrial Furnace // *Processes*. 2023. № 11(332). P. 1-24.
3. Compais P., Arroyo J., Gonzalez-Espinosa A., Castan-Lascorz M.A., Gil A. Optical Analysis of Blast Furnace Gas Combustion in a Laboratory Premixed Burner // *ACS Omega*. 2022. № 7 (28). P. 24498–24510.
4. Лукин С.В., Бахвалов М.А., Шестаков Н.И. Математическая модель и алгоритм оценки энергетического потенциала влажного коксового газа на металлургическом предприятии // *Вестник Череповецкого государственного университета*. 2022. № 3 (108). С. 34-46.
5. Bae Y.H., Oh H., Kim G., Kwon J., Lee Y., Cho J., Lee J., Park J., Lee J., Kim G., Kim T., Kim T.Y. Numerical Simulation of Hydrogen-Rich Fuel (Biomass, Coke Oven Gas) and Coal Co-Combustion in the Raceway of Blast Furnace // *Journal of Sustainable Metallurgy*. 2024. № 11. P. 264-277.
6. Wang G., Yan Z., Wang Q., Wang G. Low NO<sub>x</sub> combustion mechanism of coke oven gas with excess air coefficient and flue gas recirculation // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. № 729. P. 1-6.
7. Телешев М.И., Саушин И.И., Гольцман А.Е., Хуснутдинова Э.М., Хамидуллина Г.Р., Фахреева Д.Р. Адаптивность и надежность работы запальных устройств на коксовом газе для металлургических производств // *Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова*. 2025. Т. 23. №1. С. 178-189.
8. Болодьян И.А., Вогман Л.П., Карпов В.Л. Экспериментальные исследования критических условий факельного горения газов и паров криогенных топлив // *Актуальные проблемы пожарной безопасности : материалы XXXV Международной научно-практической конференции*. Москва, 2023. С. 462-469.
9. Мочан С.И., Абрютин А.А., Каган Г.М. Тепловой расчёт котлов (Нормативный метод). Санкт-Петербург. 1998. 259 с.

10. Солнцева Е. Д., Дружинин Г.М., Лошкарев Н.Б. Разработка горелки с плавным регулированием длины факела // *Теплотехника и информатика в образовании, науке и производстве: сборник докладов X Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных с международным участием*. Екатеринбург, 2022. С. 142-149.
11. Ольхов А. В. Повышение эффективности работы газовых котельных установок // *Вестник магистратуры*. 2020. № 5-3 (104). С. 116-118.
12. Проворная И.В., Филимонова И.В., Крутилина А.Д. Оценка влияния различных факторов на изменение углеродоемкости экономик стран мира // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринггеоресурсов*. 2024. Т. 335, № 5.С. 107–117.
13. Чудненко В.А. Перспективы углеродно-нейтрального развития компаний в РФ (на примере НК Роснефть) // *Вопросы права*. 2025. №1. С. 146-148.
14. Роева Н.Н., Орловский Р.А., Хусаинов И.Р., Мурачев Е.Б., Воронич С.С. Моделирование процесса сжигания топлив в энергоустановках с целью оценки его воздействия на атмосферу // *Экологические проблемы промышленных городов : сборник научных трудов по материалам 10-й Международной научно-практической конференции*. Саратов, 2023. С. 93-97.
15. Карпиков А.В., Желонкина Д.Е. Влияние выбросов промышленных предприятий на атмосферу // *Молодежный вестник ИрГТУ*. 2021. Т. 11, №3. С. 64-69.
- Castan-Lascorz M.A., Gil A. Optical Analysis of Blast Furnace Gas Combustion in a Laboratory Premixed Burner. *ACS Omega*. 2022. № 7 (28). P. 24498–24510.
4. Lukin S.V., Bakhvalov M.A., Shestakov N.I. Mathematical model and algorithm for estimating the energy potential of wet coke oven gas at a metallurgical enterprise. *Bulletin of Cherepovets State University*. 2022. № 3 (108). P. 34-46.
5. Bae Y.H., Oh H., Kim G., Kwon J., Lee Y., Cho J., Lee J., Park J., Lee J., Kim G., Kim T., Kim T.Y. Numerical Simulation of Hydrogen-Rich Fuel (Biomass, Coke Oven Gas) and Coal Co-Combustion in the Raceway of Blast Furnace. *Journal of Sustainable Metallurgy*. 2024. № 11. P. 264-277.
6. Wang G., Yan Z., Wang Q., Wang G. Low NO<sub>x</sub> combustion mechanism of coke oven gas with excess air coefficient and flue gas recirculation. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. № 729. P. 1-6.
7. Teleshev M.I., Saushin I.I., Goltsman A.E., Khusnutdinova E.M., Khamidullina G.R., Fakhreeva D.R. Adaptivity and reliability of coke oven ignition devices for metallurgical industries. *Bulletin of Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Novosov*. 2025. Vol. 23. № 1. P. 178-189.
8. Bolodyan I.A., Vogman L.P., Karpov V.L. Experimental studies of critical conditions of flare combustion of gases and vapors of cryogenic fuels. *Actual problems of fire safety : proceedings of the XXXV International Scientific and Practical Conference*. Moscow, 2023. P. 462-469.
9. Mochan S.I., Abryutin A.A., Kagan G.M. Thermal calculation of boilers (Normative method). St. Petersburg. 1998. 259 p.
10. Solntseva E. D., Druzhinin G.M., Loshkarev N.B. Development of a burner with smooth adjustment of the torch length. *Thermal engineering and computer science in education, science and production: a collection of reports of the X All-Russian Scientific and Practical Conference of students, postgraduates and Young scientists with international participation*. Yekaterinburg, 2022. P. 142-149.
11. Olkhov A.V. Improving the efficiency of gas boiler installations. *Bulletin of the Magistracy*.

## REFERENCES

1. Padwal M. Kinetic Modeling of the Premixed Combustion of Blast Furnace Gas and Effects of Variable Compositions. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. 2022. № 61. P. 9658-9666
2. Arroyo J., Perez L., Cuervo-Pinera V. CFD Modeling and Validation of Blast Furnace Gas/Natural Gas Mixture Combustion in an Experimental Industrial Furnace. *Processes*. 2023. № 11(332). P. 1-24.
3. Compais P., Arroyo J., Gonzalez-Espinosa A.,

2020. № 5-3 (104). P. 116-118.
12. Provornaya I.V., Filimonova I.V., Krutilina A.D. Assessment of the influence of various factors on the change in the carbon intensity of the economies of the world. Proceedings of Tomsk Polytechnic University. Georesource engineering. 2024. Vol. 335, № 5. P. 107-117.
  13. Chudnenko V.A. Prospects of carbon-neutral development of companies in the Russian Federation (on the example of NK Rosneft). Questions of Law. 2025. № 1. P. 146-148.
  14. Roeva N.N., Orlovsky R.A., Khusainov I.R., Murachev E.B., Voronich S.S. Modeling of the fuel combustion process in power plants in order to assess its impact on the atmosphere. Ecological problems of industrial cities : a collection of scientific papers on the materials of the 10th International Scientific and Practical Conference. Saratov, 2023. P. 93-97.
  15. Karpikov A.V., Zhelonkina D.E. The influence of industrial emissions on the atmosphere. YouthBulletinofrSTU. 2021. Vol. 11, № 3. P. 64-69.