

ПАРОВЫЕ КОТЛЫ, ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ТОПЛИВО, ГОРЕЛОЧНЫЕ УСТРОЙСТВА И ВСПОМОГАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ КОТЛОВ

ОПИСАНИЕ КОНСТРУКЦИИ И МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ВИХРЕВОЙ ПОВОРОТНОЙ ГОРЕЛКИ ПРИ СЖИГАНИИ УГЛЯ И ПРИРОДНОГО ГАЗА

© 2024 г. И. А. Рыжий^а *, А. В. Штегман^а, Д. В. Сосин^а, А. С. Натальин^а

^аВсероссийский теплотехнический институт, Автозаводская ул., д. 14, Москва, 115280 Россия

*e-mail: ryzhy1987@mail.ru

Поступила в редакцию 04.12.2023 г.

После доработки 08.02.2024 г.

Принята к публикации 29.02.2024 г.

Проведенные ранее расчетные исследования на примере котла БКЗ-210-140 Томской ГРЭС-2 показали, что при существующих колебаниях характеристик углей, сжигаемых на электростанции, температура газов на выходе из топки котла может изменяться в широком диапазоне (более 100°C). Такое непостоянство режима приводит к ряду проблем, к которым относятся трудности с поддержанием стабильной температуры перегретого пара, повышенный риск шлакования поверхностей нагрева, снижение эффективности сжигания топлива. По результатам выполненных расчетов сделан вывод, что возможность регулирования вектора начального участка факела на $\pm 15^\circ$ позволит в значительной степени решить упомянутые проблемы. Основным элементом системы сжигания с регулированием положения факела является поворотная горелка. На основе анализа текущих условий работы котла БКЗ-210-140 Томской ГРЭС-2 были разработаны технические решения по конструкции вихревой поворотной горелки, предназначенной для сжигания угольной пыли, а также природного газа и мазута. Выходная часть горелки выполняется таким образом, что имеется возможность ее поворота на $\pm 15^\circ$ по вертикали и $\pm 5^\circ$ по горизонтали, что позволит эффективно корректировать режим горения. Проведено моделирование топочного процесса в программе ANSYS Fluent при различных условиях работы котла. Результаты моделирования показывают, что при использовании новых горелок можно повысить эффективность топочного процесса. Поворот горелки в вертикальной плоскости на $\pm 15^\circ$ дает возможность обеспечить диапазон регулирования температуры на выходе из топки 120°C. На основе принятых технических решений разработана проектная документация на горелку. Изготовлен опытный образец малотоксичной вихревой поворотной горелки, установленной на котле БКЗ-210-140 Томской ГРЭС-2.

Ключевые слова: паровой котел, характеристики угля, шлакование, эффективность сжигания, поворотная горелка, конструкция горелки, рассекатели потока аэросмеси, моделирование топочного процесса, радиационный теплообмен, недожог, твердые частицы, оксиды азота

DOI: 10.56304/S0040363624700127

На многих ТЭС в настоящее время существует проблема нестабильности характеристик углей, сжигаемых в пылеугольных котлах, вызванная широким диапазоном свойств углей [1]. Выполненные ранее расчетные исследования топочного процесса на примере котла БКЗ-210-140 Томской ГРЭС-2 показали, что при изменении вектора начального участка факела в топке в диапазоне $\pm 15^\circ$ можно обеспечить регулирование температуры газов на выходе из топки на уровне 80–89°C. Это позволяет в значительной степени компенсировать проблему колебания температуры газов и перегретого пара при изменении характеристик сжигаемого угля.

Ключевым элементом системы регулирования вектора начального участка факела в топке долж-

на стать вихревая поворотная горелка, поворот которой можно регулировать в требуемом диапазоне. Однако до настоящего момента примеры удачной реализации вихревых поворотных горелок на угольных ТЭС практически отсутствуют. Это обусловлено сложностью конструкции подобных горелок. При разработке современной вихревой поворотной пылеугольной горелки необходимо обеспечить:

организацию эффективной подачи топлива и воздуха в топку во всем диапазоне поворота и недопущение роста потерь с химическим и механическим недожогом;

высокие экологические показатели, снижение выбросов оксидов азота NO_x ;

уплотнение каналов горелки в местах сочленения статической и динамической (поворотной) частей; уплотнение должно эффективно работать и препятствовать перетокам между каналами при периодических поворотах горелки;

эффективное решение по механизму поворота горелки; способ реализации поворота должен быть высоконадежным: недопущение “закипания” под действием высоких температур, низкая чувствительность к воздействию угольной пыли и др.;

герметичность соединения поворотной части горелки с топкой с возможностью поворота горелки в вертикальной плоскости в требуемом диапазоне.

При разработке конструкции вихревой поворотной горелки для котла БКЗ-210-140 Томской ГРЭС-2 также учитывались особенности существующего оборудования электростанции. Паровой котел БКЗ-210-140-9 — одnobарабанный, вертикально-водотрубный с естественной циркуляцией, предназначен для выработки пара при сжигании каменных и бурых углей с твердым шлакоудалением. В качестве резервного топлива применяются природный газ и мазут. Паропроизводительность котла составляет 210 т/ч, давление перегретого пара 13.8 МПа, температура перегретого пара 560°C, температура питательной воды 230°C. Топка котла оснащена шестью вихревыми горелками, расположенными встречно в два яруса (две горелки в первом ярусе, четыре горелки во втором ярусе) треугольником вниз на боковых стенах топки.

Разрабатываемая горелка должна иметь один канал по пыли (аэросмеси) и один канал по вторичному воздуху, а также обеспечивать возможность сжигания, наряду с угольной пылью, природного газа и мазута.

ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПО ВИХРЕВОЙ ПЫЛЕГАЗОВОЙ ПОВОРОТНОЙ ГОРЕЛКЕ

С учетом рекомендаций [2–4] был выполнен расчет конструкции горелочного устройства. В качестве базовых характеристик сжигаемого угля были приняты следующие данные, полученные при анализе пробы топлива по результатам предварительных испытаний котла БКЗ-210-140:

Влажность на рабочую массу, %	18.71
Зольность на рабочую массу, %	10.99
Теплота сгорания, кДж/кг (ккал/кг) ...	20 153 (4810)

Однако с учетом широкого диапазона свойств угля, поступающего на Томскую ГРЭС-2, предусматривается необходимость организации эффективной работы горелки не только на базовом угле, но и на “ухудшенном” и “улучшенном” ва-

риантах топлива. Допустимый диапазон характеристик угля составляет:

Теплота сгорания, кДж/кг (ккал/кг)	15 503–24 721 (3700–5900)
Влажность, %	10–25
Зольность, %	5–20

Основные расчетные и конструктивные показатели горелки приведены далее:

Мощность, МВт	27
Количество каналов:	
аэросмеси	1
вторичного воздуха	1
Тип закручивающих аппаратов	Аксиальный
Номинальный расход топлива на горелку, т/ч	4.78
Расход, м ³ /с:	
аэросмеси	3.39
вторичного воздуха	13.5
Масса, кг	3555
Скорость воздуха, м/с:	
первичного	16.5
вторичного	33.0
Угол поворота в плоскости, град:	
горизонтальной	±5
вертикальной	±15

Конструкция горелки показана на рис. 1–3. В горелке расположены центральный канал для размещения запального устройства и мазутной форсунки, один канал подачи аэросмеси и один канал подачи вторичного воздуха. Также предусмотрены коллектор подвода природного газа и газораспределительные трубки. На конструкцию горелочного устройства получено несколько патентов [5, 6].

В каналах аэросмеси и вторичного воздуха размещаются аксиальные лопаточные завихрители. В канале аэросмеси равномерно по окружности установлены делители потока, каждый из которых имеет желоб с определенным отношением глубины к ширине. Все делители выполнены с остроконечным входным рассекателем, имеющим форму лезвия с односторонним косым срезом (рис. 4). Таким образом, поток аэросмеси закручивается с помощью аксиально-лопаточного завихрителя по направлению к расположенным далее по ходу потока аэросмеси желобам рассекателей и распределяется с помощью делителей на отдельные струи.

Рассекатели формируют на входе в топку струи асимметричной формы (рис. 5). При этом частицы твердого топлива концентрируются на границе струи первичного воздуха, что обеспечивает их

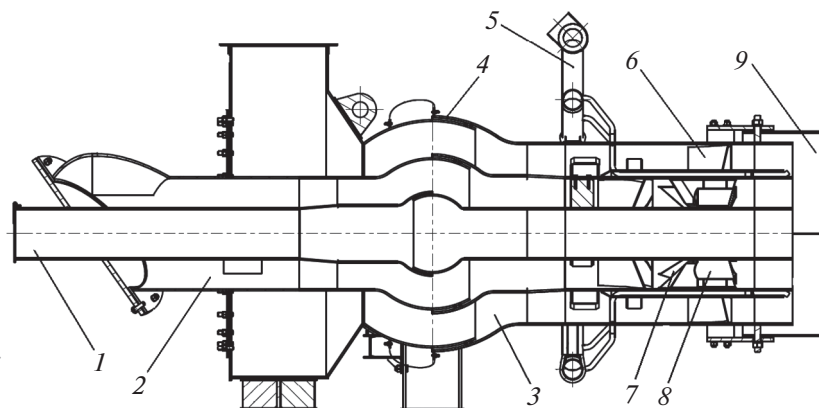


Рис. 1. Вид горелки сбоку в разрезе.

1 – центральный канал (место размещения запального устройства и мазутной форсунки); 2, 3 – канал подачи аэро-смеси и вторичного воздуха; 4 – узел сопряжения статичной и поворотной частей горелки; 5 – газовый коллектор; 6, 7 – аксиальный лопаточный аппарат каналов вторичного воздуха и аэро-смеси; 8 – рассекатели потока аэро-смеси; 9 – выходная насадка для горизонтального поворота

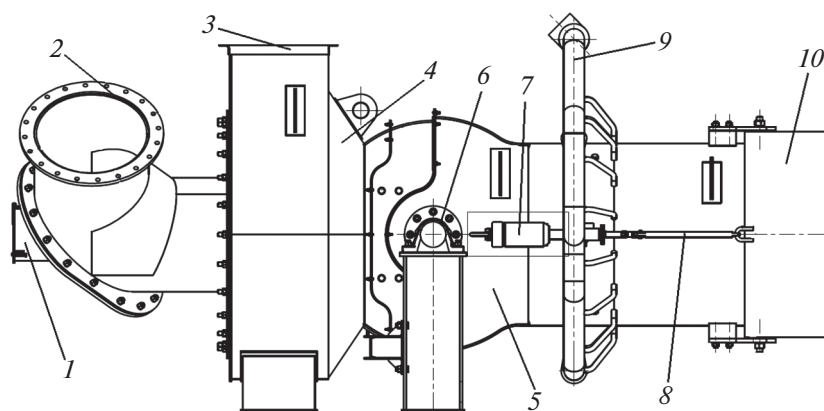


Рис. 2. Вид горелки сбоку.

1, 2 – входные патрубки центрального канала и аэро-смеси; 3 – входной короб вторичного воздуха; 4, 5 – статичная и поворотная части горелки; 6 – подшипник поворотного вала горелки; 7 – механизм электрический прямоходный (МЭП); 8 – тяга от МЭП к поворотной насадке; 9 – газовый коллектор; 10 – выходная насадка для горизонтального поворота

прямой контакт с поджигающими высокотемпературными газовыми вихрями, образующимися у торцов делителей и подсасываемыми к корню факела из зоны активного горения. В результате воспламенение угольной пыли происходит при пониженной концентрации кислорода, что приводит к уменьшению эмиссии топливных оксидов азота.

Высокоэффективные и малотоксичные вихревые горелки ВТИ с рассекателями потока пыли уже внедрялись на котлах России, в частности на Троицкой ГРЭС и Омской ТЭЦ-5. Следует отметить, что снижение концентрации оксидов азота наблюдалось при использовании экибастузского угля и шубаркольского угля марки Д. Согласно имеющимся результатам моделирования [7] и опытным данным, полученным при использовании горелок с делителями потока, снижение выбросов NO_x может составить в среднем 35%.

Для обеспечения плотности между каналами горелочного устройства на стыках статической и поворотной частей была разработана конструкция комплексного двойного уплотнения [8] (рис. 6). Кольцевое уплотнение выполняется следующим образом. На коллекторе, изготовленном из стали 20, кольцевого уплотнения имеются проточки, с каждой стороны которых методом наплавки металлом сделаны два буртика, образующих паз. В паз, с помощью высокотемпературного клея-герметика (KUDO KSK707) способом конопачения крепится огнеупорный уплотнительный шнур из кремнеземной нити с наполнением из кремнеземного холста ШКН(Х)-1-12. Удержание шнура в пазу обеспечивается благодаря адгезии между металлом, клеем-герметиком и шнуром и плотной посадкой в паз, размер которого меньше размеров шнура. Для снижения трения открытой части шнура об ответную часть

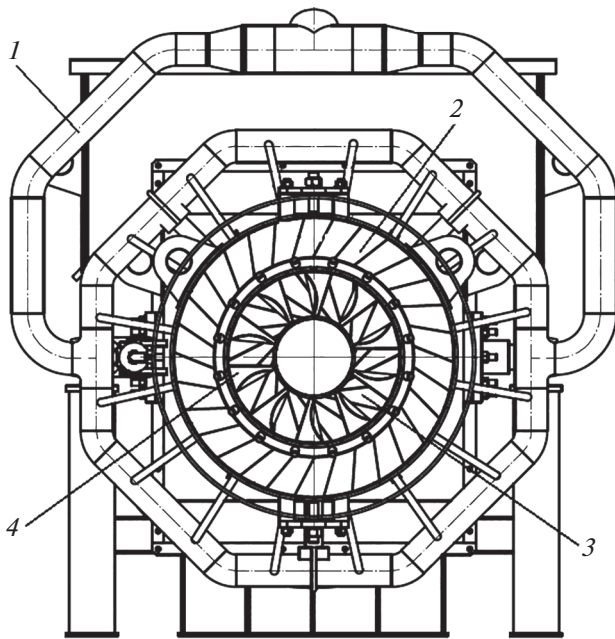


Рис. 3. Вид горелки со стороны топки котла.
1 – газовый коллектор; 2, 3 – аксиальный лопаточный аппарат каналов вторичного воздуха и аэросмеси;
4 – рассекатели потока аэросмеси

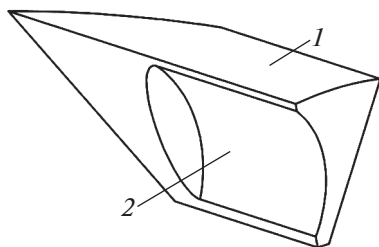


Рис. 4. Делитель потока (1) и желоб рассекателя (2)

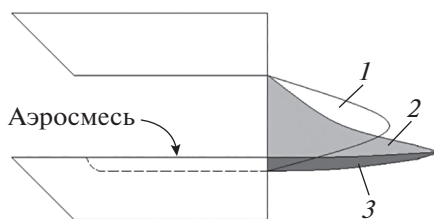


Рис. 5. Формирование зоны повышенной концентрации частиц твердого топлива.
1 – первичный воздух; 2 – частицы твердого топлива;
3 – зона повышенной концентрации частиц твердого топлива

коллектора шнур снаружи покрывают высокотемпературной медно-графитовой смазкой. Наружный канал вторичного воздуха дополнительно закрывается тканевым уплотнением из высокотемпературного огнестойкого материала (тканевый компенсатор ТК-В-1000-1240-225).

Горелка выполнена поворотной с возможностью изменения направления подачи потока как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскости. Все каналы горелки содержат неподвижную часть – прямую цилиндрическую трубу, и подвижную часть, представляющую собой последовательно соединенные с помощью сварки прямую цилиндрическую трубу и прямую цилиндрическую жаропрочную насадку. Прямые цилиндрические трубы сочленены одна с другой шарнирным соединением.

К внешней боковой стенке горелки в месте расположения шарнирного соединения приварены два вала, которые установлены в закрепленных на опорах радиально-торцевых подшипниках. Для поворота горелки в вертикальной плоскости используется гидравлическая станция, оснащенная двумя гидравлическими цилиндрами. Гидроцилиндры располагаются по боковым сторонам устройства и фиксируются задним креплением на элемент металлоконструкций, передним креплением – на опорный вал, приваренный под поворотной частью горелки (рис. 7).

Маслостанция размещается на площадке обслуживания котла и соединяется с гидроцилиндрами системой шлангов, по которым масло подается на напор (движение горелки вверх) и слив (движение горелки вниз). Оборудование подбирается таким образом, чтобы обеспечивался требуемый диапазон поворота горелки в вертикальной плоскости $\pm 15^\circ$.

Предусматривается также возможность поворота горелки в горизонтальной плоскости в диапазоне угла от -5° до $+5^\circ$ с помощью МЭП, установленного сбоку горелки и соединенного с помощью тяги с жаропрочной поворотной насадкой (см. рис. 2). Реализация поворота в горизонтальной плоскости может обеспечить дополнительные возможности по регулированию режима горения, в частности двухступенчатое сжигание по горизонтали и более глубокое снижение выбросов NO_x [9, 10].

Соединение подвижной части горелки с топкой осуществляется через уплотнительный короб и подвижный щит (рис. 8). Крайняя кромка уплотнительной коробки находится примерно на уровне экранных труб топочной камеры. Подвижный щит расположен в пазах, позволяющих ему свободно перемещаться вверх и вниз в заданном диапазоне. Узел сочленения горелки и щита уплотняется с использованием высокотемпературного муллитокремнеземистого материала. Для увеличения плавности хода щита при повороте горелки и снижения динамического воздействия на уплотнение щит устанавливается на котле вместе с системой противовеса.

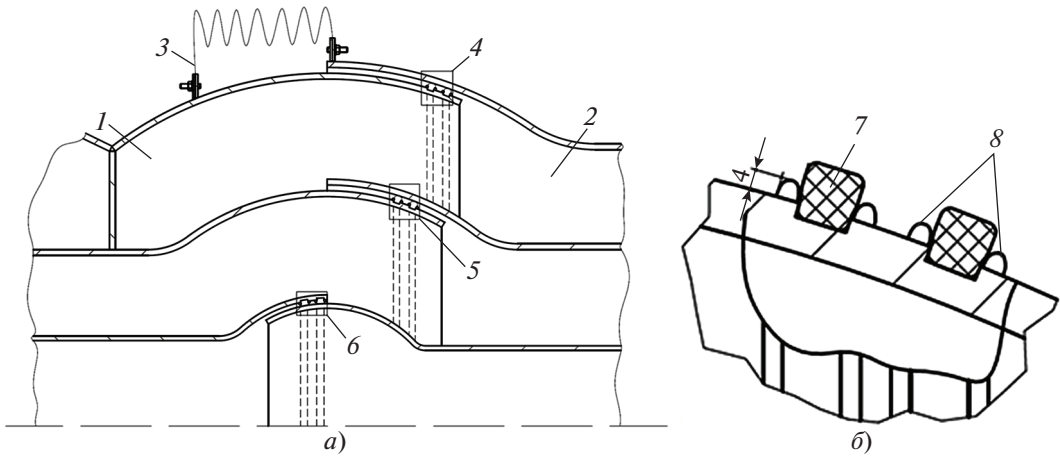


Рис. 6. Уплотнение каналов горелки (а) и кольцевое уплотнение (б).
1, 2 – статичная и поворотная части горелки; 3 – тканевое уплотнение наружного канала; 4, 5, 6 – уплотнение сопряжения каналов вторичного воздуха, аэросмеси и центрального; 7 – уплотнительный кремнеземный шнур; 8 – наплавка из металлического прутка

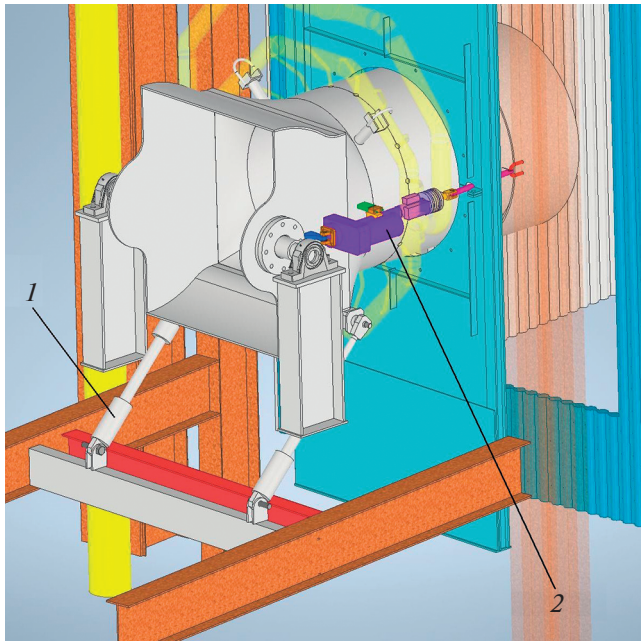
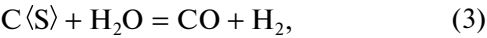
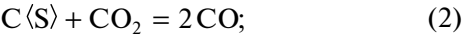
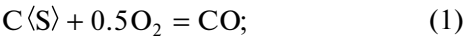


Рис. 7. Установка гидроцилиндров для реализации вертикального поворота.
1 – гидроцилиндр; 2 – МЭП

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТОПОЧНОГО ПРОЦЕССА В КОТЛЕ БКЗ-210-140 ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МАЛОТОКСИЧНЫХ ПОВОРОТНЫХ ГОРЕЛОК В ПРОГРАММЕ ANSYS FLUENT

При моделировании топочного процесса в программе ANSYS Fluent задаются константы скоростей следующих химических реакций:



где $C\langle S \rangle$ – содержание твердого углерода (carbon solid).

Реакция (1) определяет механический недожог топлива.

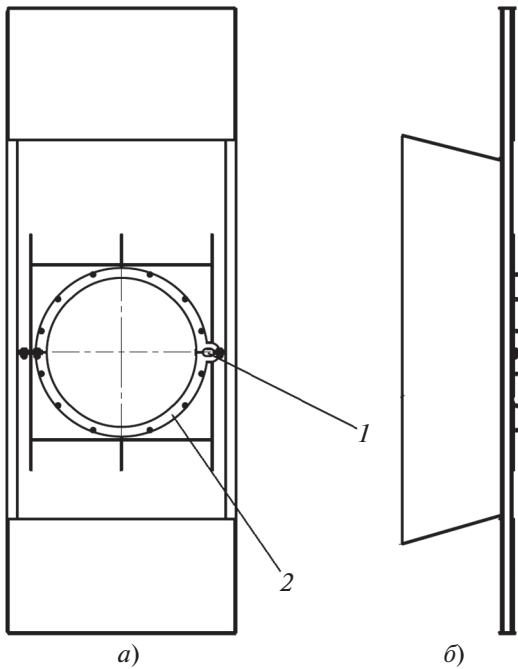
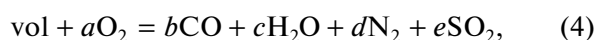


Рис. 8. Уплотнительная коробка (а) и подвижный щит горелки (б).
1 – отверстие для прохода тяги от МЭП к насадке горизонтального поворота; 2 – фланец входа горелки

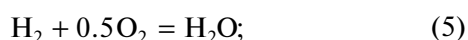
Таблица 1. Параметры реакций (4)–(6)

Номер реакции	Параметр реакции	
	E_a , Дж/кмоль	k
(4)	2.027×10^8	2.119×10^{11}
(5)	3.1×10^7	9.87×10^8
(6)	1.7×10^8	2.239×10^{12}

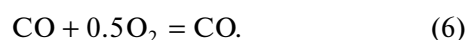
Реакции горения имеют следующий вид:
горение летучих



где vol — летучие компоненты топлива (volatiles);
 a, b, c, d, e — стехиометрические коэффициенты;
горение водорода



горение монооксида углерода



В табл. 1 приведены значения энергии активации E_a и предэкспоненциального множителя k реакций.

Для моделирования радиационного теплообмена использовали модель Discrete Ordinates, которая является наиболее точной и подходит для всех условий и любой толщины излучающего слоя. Выход летучих моделировали по закону Аррениуса со стандартными настройками по энергии активации и предэкспоненциальному множителю. Скорости, гидравлические диаметры и прочие параметры рассчитывали, исходя из фактических данных по горелкам и котельной установке.

В Solid Works была разработана 3D-модель топki с горелочными устройствами и выполнено построение расчетной сетки модели. Предыдущий опыт расчетов в ANSYS котлов со встречным расположением горелок показал, что эффекты в области взаимодействия потоков от встречно ориентированных горелок (с учетом направления их крутки) не оказывают существенного влияния на результаты моделирования. Вследствие этого, поскольку расположение горелок на рассматриваемом котле встречное и все показатели работы по двум сторонам топki идентичны, для увеличения скорости расчета была смоделирована половина реальной топочной камеры. Расчеты выполняли как для исходного (базового) варианта работы котла (со старыми горелками), так и с использованием новых поворотных малотоксичных горелок (модифицированный вариант). Для новых горелок выполнены расчеты для их положений относительно горизонтальной оси $+15^\circ$, 0° и -15° .

Сравнительные результаты расчета базового варианта работы котла и варианта с установкой новых горелок (угол положения 0°) представлены на рис. 9–12.

Согласно результатам расчетов, условия воспламенения топлива при использовании новых горелок оказываются более оптимальными: по векторному полю скоростей видно, что в новом варианте зона обратных токов (присос горячих газов в область воспламенения) выражена сильнее.

Концентрация CO на выходе из топki в базовом варианте выше, что обуславливает более высокие потери с недожогом. Хотя в абсолютных значениях потери с механическим недожогом невелики в обоих вариантах, в целом использование новых горелок сопровождается снижением недожога. Так, средняя расчетная концентрация твердой фазы (частиц углерода) на выходе из топki для базового варианта равна 0.01103 , а для модифицированного варианта — 0.00157 кг/м³.

На рис. 13 показано распределение температур в топке при модифицированном варианте системы сжигания.

Средняя расчетная температура газов на выходе из топki составляет 1150°C , что практически идеально соответствует результатам расчета по нормативному методу теплового расчета (НТР) (табл. 2).

На рис. 14, 15 представлены результаты расчета варианта с поворотом горелок вверх на 15° , которые показывают, что температура газов на выходе из топki при повороте горелок вверх на 15° повышается в среднем на 50°C . Отмечается также незначительное увеличение недожога по сравнению с вариантом с углом 0° — средняя расчетная концентрация твердых частиц составляет 0.00250 кг/м³. Но по показателям недожога рассматриваемый вариант все равно лучше базового варианта со старыми горелками, при котором средняя расчетная концентрация твердых частиц составляет 0.01103 кг/м³.

На рис. 16, 17 представлены результаты расчета варианта с поворотом горелок вниз на 15° . Температура газов на выходе из топki в этом варианте закономерно снижается, причем значительно — примерно на 70°C . Наблюдается некоторое увеличение недожога (средняя расчетная концен-

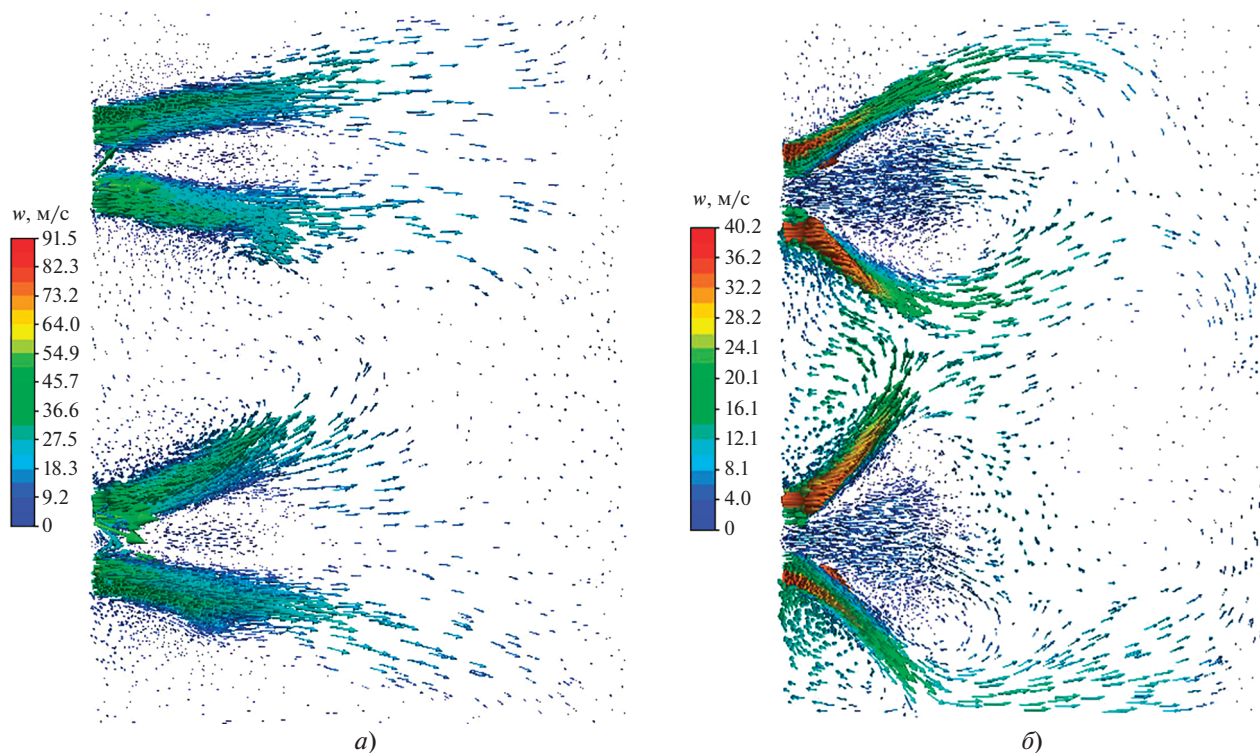


Рис. 9. Векторное поле скоростей w на уровне верхнего яруса горелок.
 а – базовый вариант; б – модифицированный вариант

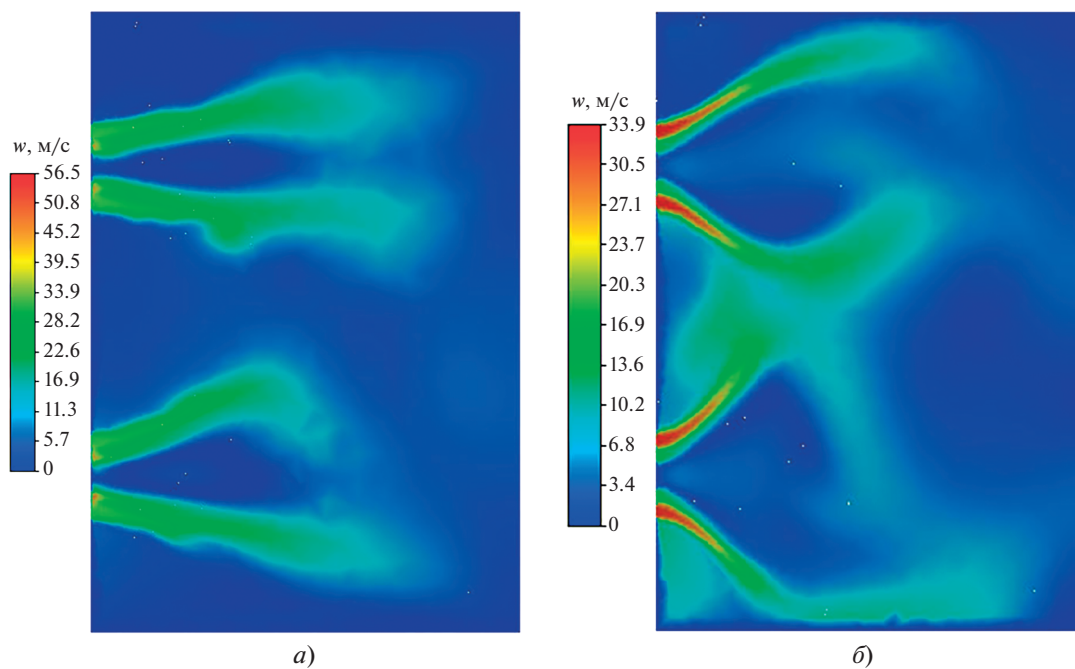


Рис. 10. Поле скоростей w на уровне верхнего яруса горелок.
 а – базовый вариант; б – модифицированный вариант

трация твердых частиц составляет 0.00756 кг/м^3) относительно двух предыдущих вариантов. Однако по сравнению с базовым вариантом со старыми горелками недожог оказывается меньшим.

В целом результаты расчета основных параметров котла в программе ANSYS Fluent позволяют сделать вывод о высокой эффективности новых горелок, в том числе в плане регулирова-

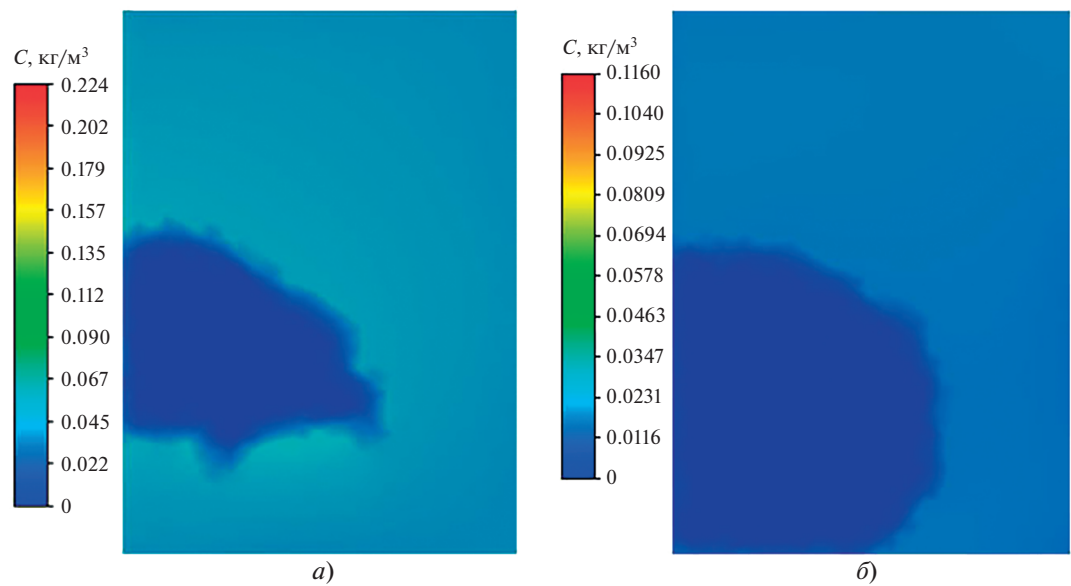


Рис. 11. Поле концентрации СО C перед ширмовым пароперегревателем. a – базовый вариант; b – модифицированный вариант

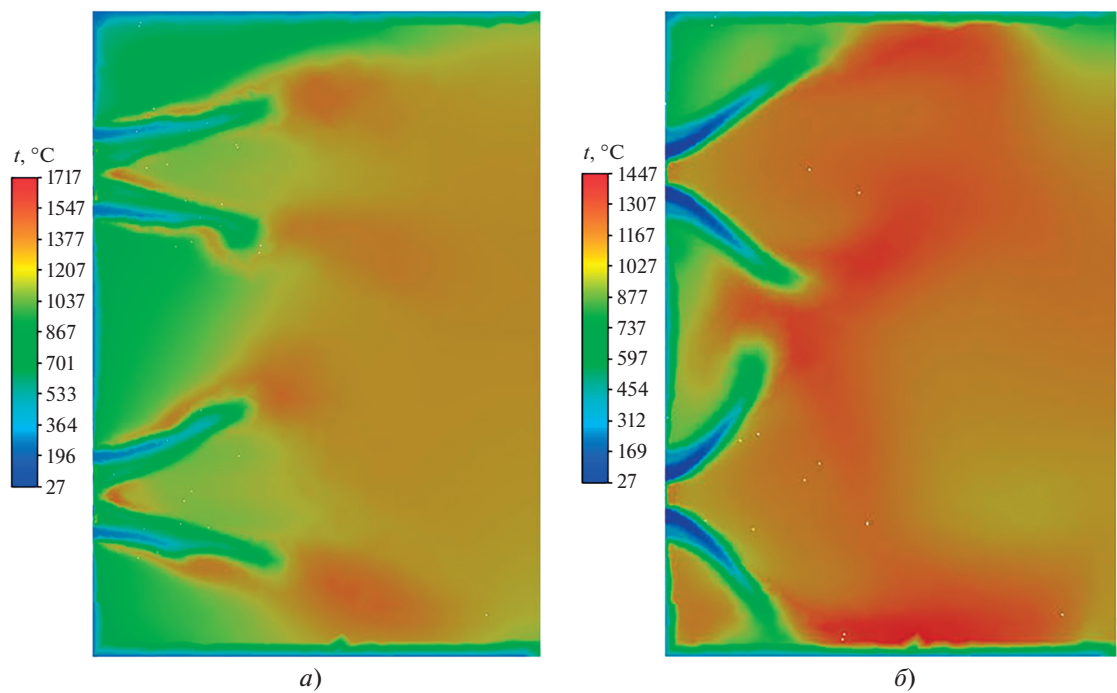


Рис. 12. Поле температур t на уровне верхнего яруса горелок. a – базовый вариант; b – модифицированный вариант

Таблица 2. Результаты расчета температуры газов на выходе из топки при разных значениях угла поворота горелок

Угол поворота горелок, град	Параметр М	Температура газов на выходе из топки, °C	
		расчет по НТП	расчет в ANSYS
–15	0.432	1109	1085
0	0.394	1150	1155
+15	0.357	1198	1205

Примечание. Параметр М определяет высоту положения факела в топке.

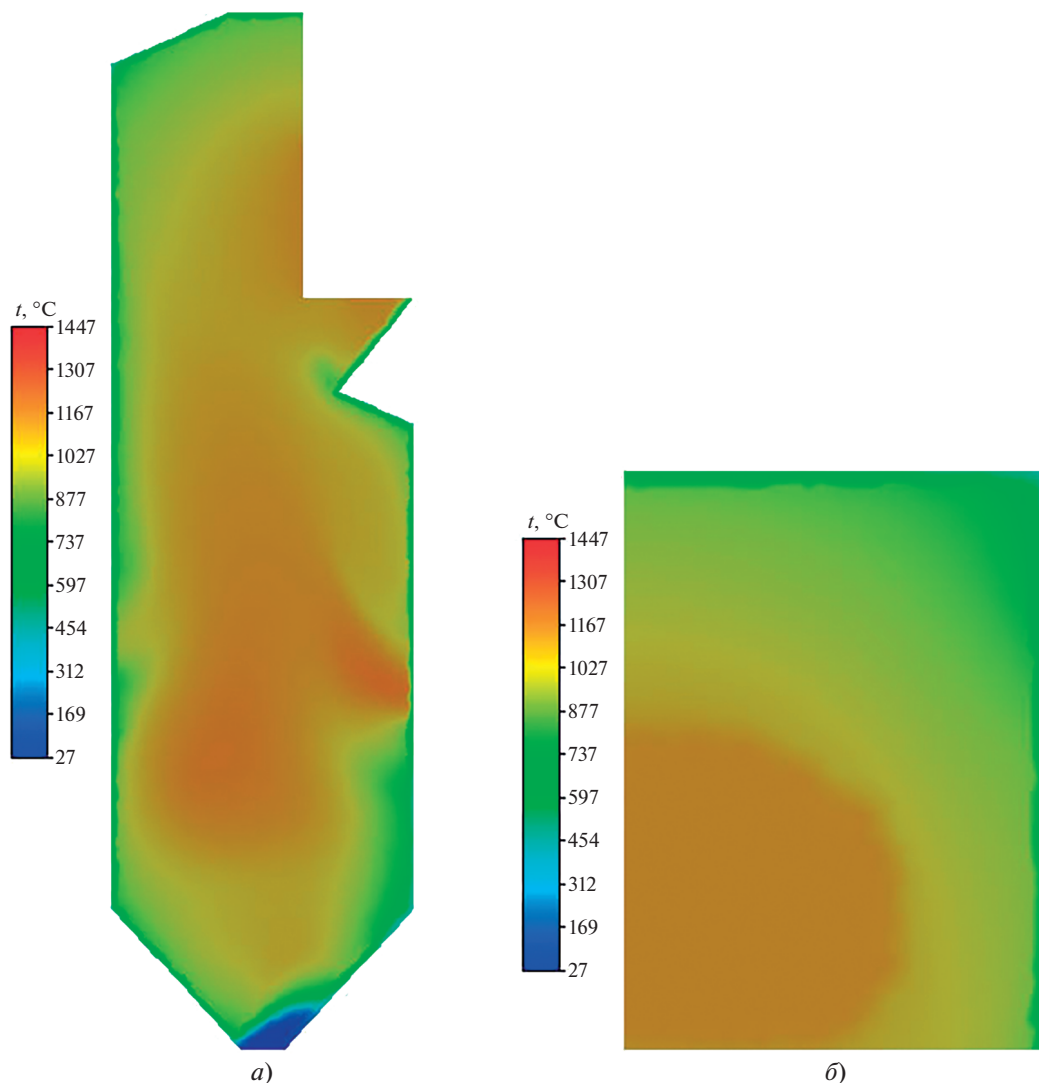


Рис. 13. Поле температур при угле поворота горелки 0° в поперечном сечении топки (а) и в выходном окне топки (б)

ния уровня температур в топке изменением вектора начального участка факела при повороте горелок в диапазоне $\pm 15^\circ$.

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ГОЛОВНОГО ПРОМЫШЛЕННОГО ОБРАЗЦА МАЛОТОКСИЧНОЙ ВИХРЕВОЙ ПОВОРОТНОЙ ПЫЛЕГАЗОВОЙ ГОРЕЛКИ

В 2022 г. на основании принятых технических решений по горелочному устройству была разработана рабочая документация по техническому перевооружению котла БКЗ-210-140 Томской ГРЭС-2 с установкой новых малотоксичных поворотных горелок. В 2023 г. головной промышленный образец горелки был изготовлен в ВТИ (рис. 18). В настоящий момент опытный образец поворотной горелки установлен на котле БКЗ-210-140 Томской ГРЭС-2 вместе с

системами вертикального и горизонтального поворота (рис. 19).

На стендовых установках ВТИ были выполнены продувки горелочного устройства, проверена работоспособность уплотнений, узлов поворота и прочих элементов горелки. В конце 2023 г. проведены испытания горелки на работающем котле, подтвердившие работоспособность горелочного устройства и его элементов.

ВЫВОДЫ

1. В разработанной конструкции малотоксичной вихревой пылегазовой поворотной горелки, предназначенной для сжигания углей в широком диапазоне характеристик, реализована возможность ее поворота на $\pm 15^\circ$ в вертикальной плоскости и на $\pm 5^\circ$ в горизонтальной плоскости.

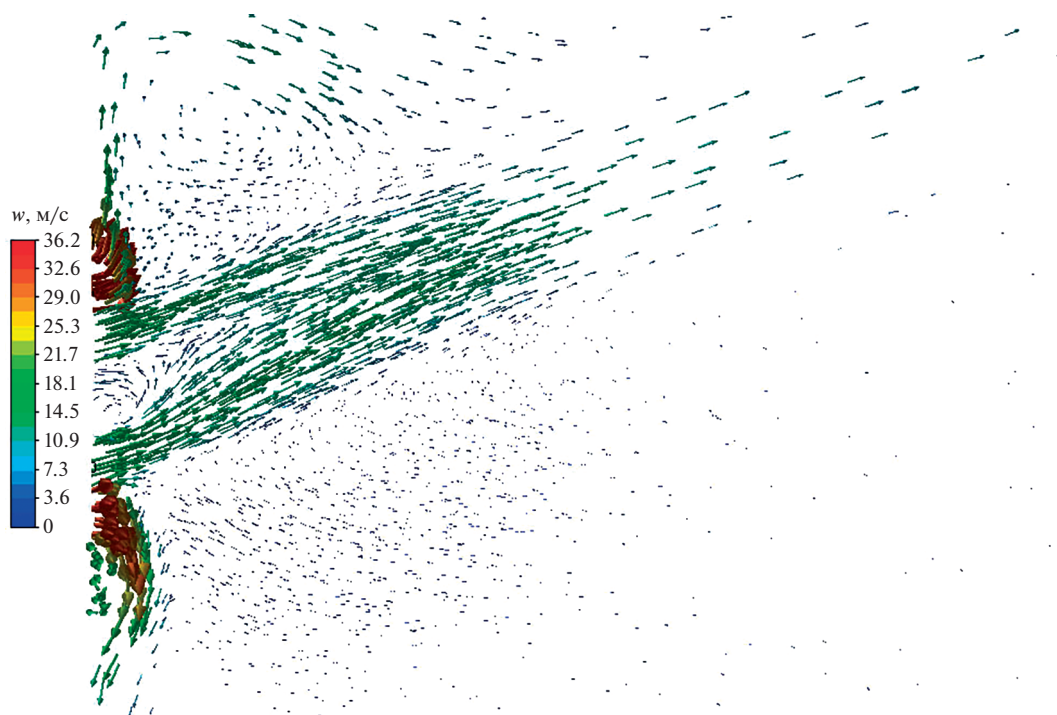


Рис. 14. Векторное поле скоростей при угле поворота горелки $+15^\circ$

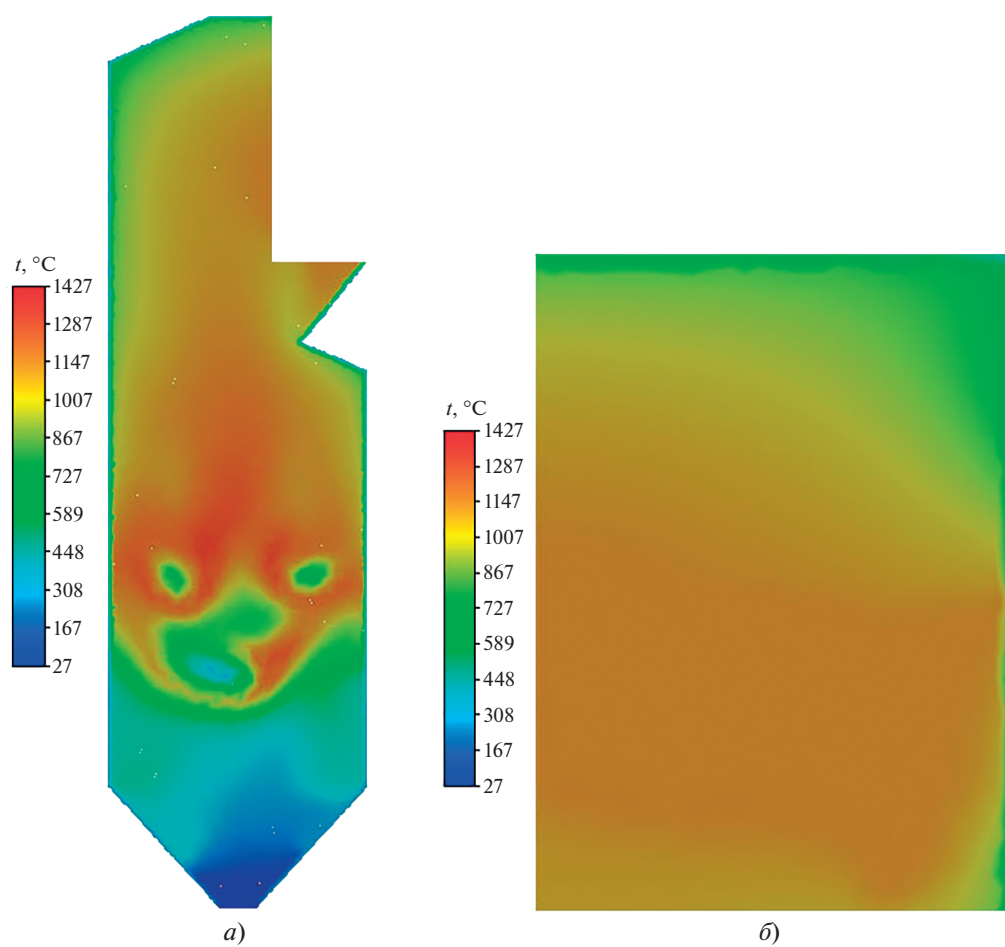


Рис. 15. Поле температур при угле поворота горелки $+15^\circ$ в поперечном сечении топки (*a*) и в выходном окне топки (*б*)

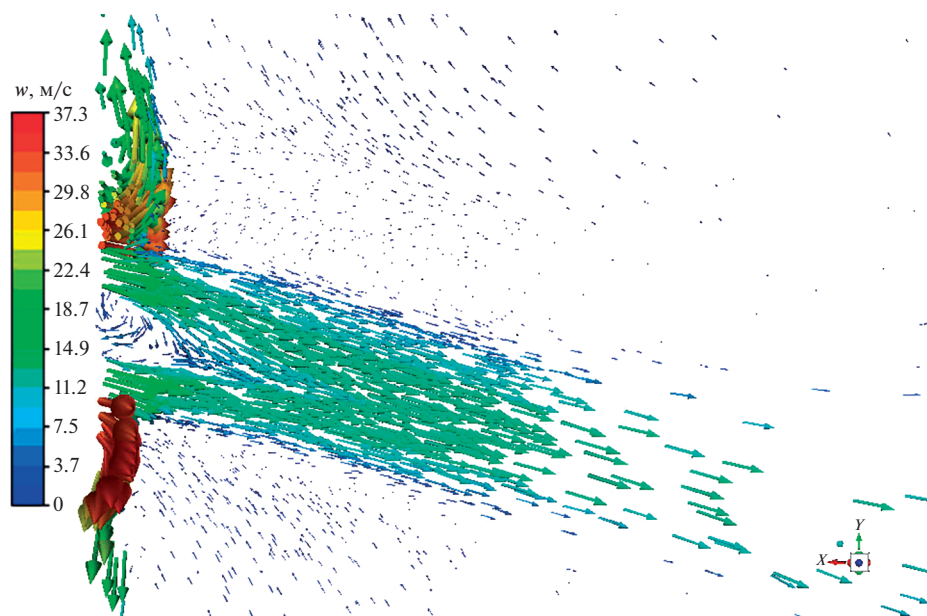


Рис. 16. Векторное поле скоростей при угле поворота горелки -15°

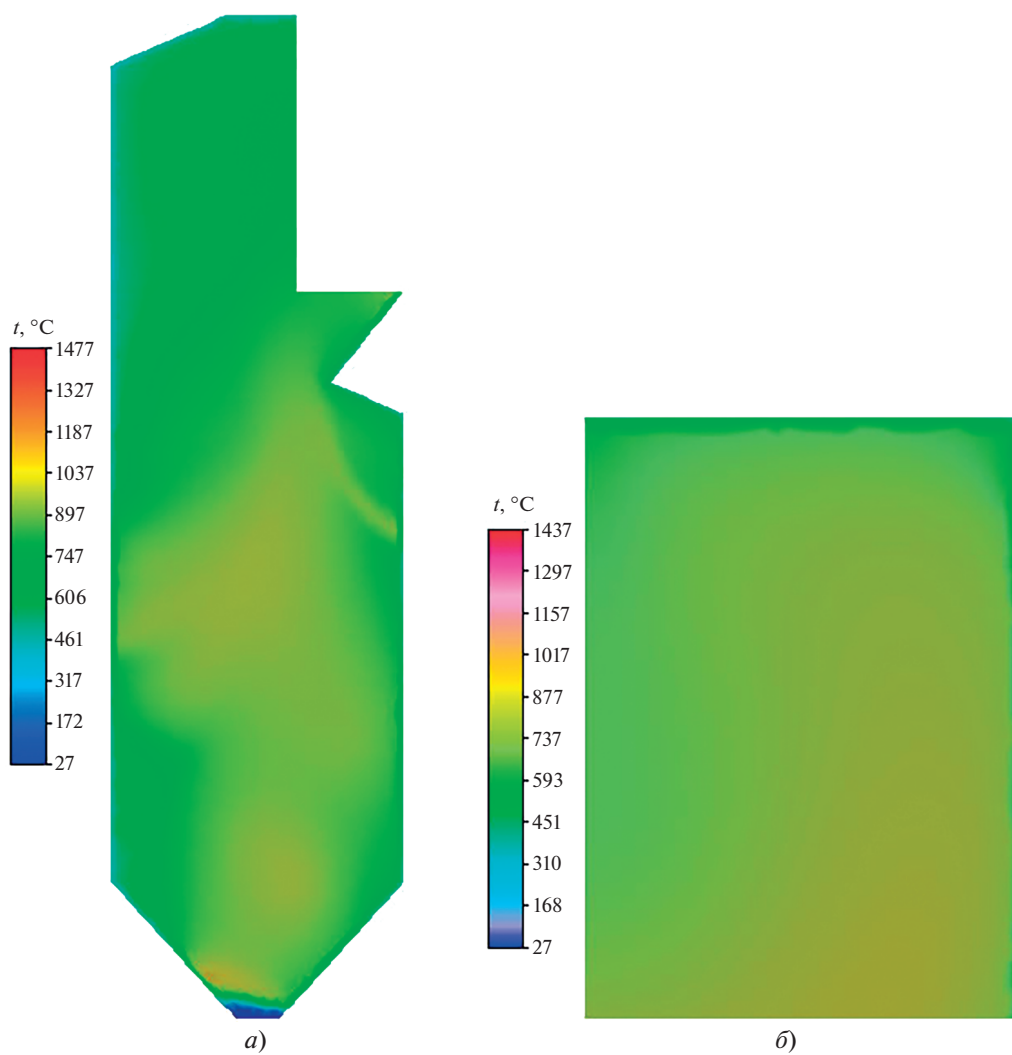


Рис. 17. Поле температур при угле поворота горелки -15° в поперечном сечении топки (а) и на выходе из топки (б)



Рис. 18. Головной образец горелки



Рис. 19. Горелка, установленная на котле

2. В конструкции горелки предусмотрена возможность установки в канале аэросмеси аксиального лопаточного аппарата, а также делителей потока. Результаты выполненного ранее моделирования и опыт внедрения малотоксичных горелок на Троицкой ГРЭС и Омской ТЭЦ-5 позволяют сделать вывод, что ожидаемое снижение выбросов оксидов азота NO_x бла-

годаря делителям потока составит около 35%. Окончательные выводы будут сделаны после испытания котла с новыми горелками.

3. Расчетные исследования топочного процесса в котле БКЗ-210-140 с использованием программы ANSYS Fluent показывают, что замена горелок на котле приводит к повышению эф-

фективности сжигания вследствие улучшения аэродинамической картины в топке и снижения потерь с недожогом. Изменение вектора начального участка факела на $\pm 15^\circ$ позволяет обеспечить диапазон регулирования температуры газов на выходе из топки на уровне $100\text{--}120^\circ\text{C}$. Ранее выполненные расчеты в программе Boiler Designer показали диапазон регулирования температуры 90°C . Фактические значения диапазона регулирования будут получены в ходе испытаний.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Алехнович А.Н.** Характеристики и свойства энергетических углей. Челябинск: Циперо, 2012.
2. **ОСТ 108.030.26-78.** Горелки вихревые пылеугольные, пылегазовые и компоновка их с топками. Методы расчета и проектирования. Л.: НПО ЦКТИ, 1979.
3. **Методические** указания по проектированию топочных устройств энергетических котлов / под ред. Э.Х. Вербовецкого, Н.Г. Жмерика. СПб.: НПО ЦКТИ, 1996.
4. **Изюмов М.А., Росляков П.В.** Проектирование и расчет горелок. М.: МЭИ, 1990.
5. **Пат. РФ на полезную модель RU 207 337 U1.** Мало-токсичная вихревая пылеугольная горелка с остро-конечными рассекаателями и завихрителем потока аэросмеси / А.В. Штегман, И.А. Рыжий, Е.А. Фоменко, Д.В. Сосин. Опубл. 25.10.2021.
6. **Пат. РФ на полезную модель RU 207 329 U1.** Пылеугольная горелка с поворотной выходной частью / А.В. Штегман, И.А. Рыжий, Е.А. Фоменко, Д.В. Сосин. Опубл. 25.10.2021.
7. **Успешная** реконструкция котла П-57 блока 500 МВт Троицкой ГРЭС / Д.В. Сосин, И.А. Рыжий, А.В. Штегман, В.Р. Котлер // Энергетик. 2014. № 4. С. 34–38.
8. **Пат. РФ на полезную модель RU 219 202 U1.** Пылеугольная горелка с поворотной выходной частью и огнеупорным уплотнением трубопроводов // А.В. Штегман, И.А. Рыжий, Е.А. Фоменко, Д.В. Сосин, А.В. Базулина, А.С. Натальин. Опубл. 04.07.2023.
9. **Котлер В.Р.** Снижение выбросов оксидов азота в котельных установках ТЭС: учеб.-метод. пособие. М.: Ин-т повышения квалификации гос. служащих, 2011.
10. **Рыжий И.А., Котлер В.Р.** Перспективное топочное устройство для угольных котлов в Сибири и Приморье // Электрические станции. 2012. № 4. С. 9–12.

Description of the Tilttable Vortex Burner Design and Modeling Its Operation during Coal and Natural Gas Combustion

I. A. Ryzhii^{a,*}, A. V. Shtegman^a, D. V. Sosin^a, and A. S. Natal'in^a

^a All-Russia Thermal Engineering Institute, Moscow, 115280 Russia

*e-mail: ryzhy1987@mail.ru

Abstract—The computational studies carried out previously taking as an example the BKZ-210-140 boiler installed at Tomsk-2 state-owned district power plant (SDPP) have shown that, given the existing scatter in the characteristics of coals fired at the power plant, the temperature of gases at the boiler furnace outlet may vary in a wide range (more than 100°C). Such variability of the operational parameters entails a number of problems, including difficulties with keeping a stable superheated steam temperature, increased risk of heating surfaces becoming slagged, and less efficient fuel combustion. A conclusion has been drawn based on the obtained computation results that the possibility of adjusting the flame's initial section vector by $\pm 15^\circ$ will make it possible to solve the above-mentioned problems to a significant extent. A tilttable burner is the key component of the combustion system with adjusting the flame position. Based on an analysis of the current operation conditions of the Tomsk-2 SDPP BKZ-210-140 boiler, technical solutions were developed on the design of a tilttable vortex burner intended for combusting pulverized coal as well as natural gas and fuel oil. The burner's outlet part is made so that it is possible to tilt it by $\pm 15^\circ$ in the vertical plane and by $\pm 5^\circ$ in the horizontal plane, which will make it possible to adjust the combustion mode in an efficient manner. The furnace process is simulated in the ANSYS Fluent software package under different boiler operation conditions. The simulation results show that, in the case of using the new burners, it is possible to improve the furnace process efficiency. By tilting the burner by $\pm 15^\circ$ in the vertical plane, it becomes possible to obtain the temperature adjustment range at the furnace outlet equal to 120°C . Based on the adopted technical solutions, design documentation for the burner has been developed. An experimental sample of the low-toxic tilttable vortex burner installed in the Tomsk-2 SDPP BKZ-210-140 boiler has been manufactured.

Keywords: steam boiler, coal characteristics, slagging, combustion efficiency, tilttable burner, burner design, air-fuel mixture flow splitters, furnace process modeling, radiant heat transfer, incomplete combustion, solid particles, nitrogen oxides