

УДК 662.933 + 662.61

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЦИКЛОННОГО РЕАКТОРА

Майоров А.Е., Кочетков В.Н., Цигельников А.И.

КемНЦ СО РАН, Кемерово

Аннотация. Разработан вертикальный ступенчатый циклонный реактор поточной газификации отходов угледобычи и углеобогащения для малой и средней энергетики. Повышение эффективности достигнуто за счет рециркуляции частиц дисперсного угольного топлива между ступенями. Определены рациональные значения геометрических параметров реактора, обеспечивающие стабильность рециркуляции частиц.

Ключевые слова: ресурсо- и энергосбережение, газификация, циклон, частицы топлива, рециркуляция, численное моделирование.

Развитие энергоэффективных, автотермичных и экологических технологий термической переработки отходов угледобычи и обогащения, низкосортных углей является важной задачей. При этом целесообразно использование вихревых процессов, обеспечивающих заданное время пребывания частиц топлива при их рециркуляции в топочном пространстве. В данных технологиях известны недостатки: повышенный унос золы с недожегом топлива вследствие одновременного нахождения в топочном пространстве частиц с различным фракционным составом и объемным весом, а также возможная нестабильность процесса рециркуляции полидисперсного топлива в топочном пространстве, снижающая качество и эффективность процесса горения.

Известно, что мощным и определяющим источником тепла для начального теплового баланса при сжигании частицы топлива в топочном пространстве является конвективное тепловосприятие, для чего на первом этапе прогрева «аэродинамическими средствами организуется циркуляционная зона и частица, увлеченная ею, попадает в обратный поток высокотемпературных продуктов полного сгорания, возвращаемых циркуляцией из очага горения. При таких условиях теплосодержание возвращенной части продуктов сгорания идет на удовлетворение нужд начального убыточного баланса частицы, резко интенсифицируя ее наиболее медленные из последовательных стадий газификации и горения: прогрев, испарение влаги и маслянистых веществ и термическое разложение как испаренных углеводородов, так и коксующегося твердого остатка» [1]. Очевидно, что важно наличие процесса стабильной рециркуляции полидисперсного топлива в топочном пространстве, повышающие качество сгорания и эффективность работы топочной камеры.

Развивая исследования ИТ СО РАН и Кемеровского филиала ИТ СО РАН, Лабораторией проблем энергосбережения КемНЦ СО РАН разработан циклонный реактор, обеспечивающий стабильную рециркуляцию частиц топлива в топочном пространстве за счет их возвратной эжекции через зоны отрывного течения вихревых потоков между ступенями [2, 3].

Реактор (рис. 1) включает вертикальный корпус, который состоит из нижней первой ступени 1, второй ступени 2, третьей ступени 3, подготовительной ступени 4 с конфузуром 5 в ее верхней части, рубашки для подвода и подогрева вторичного воздуха и охлаждения корпуса, бункера для золы 7, каналов рециркуляции 8 между нижней первой ступенью 1 и второй ступенью 2. При этом каналы рециркуляции 8 имеют выход в топочное пространство в зоне разряжения через кольцевую щель 9 между нижней первой ступенью 1 и подготовительной ступенью 4. Также имеются: канал 10 тангенциального подвода полидисперсного топлива и первичного воздуха к подготовительной ступени 4 в нижнюю область топочного пространства, каналы 11 тангенциального подвода вторичного воздуха, поступающего по рубашке 6 до окон 12 в цилиндрической обечайке второй ступени 2 и тангенциально подающего в верхнюю область топочного пространства, выхлопная труба 14, горелка 15 для розжига. Каналы золоудаления 13 соединяют третью ступень 3 и бункер для золы 7.

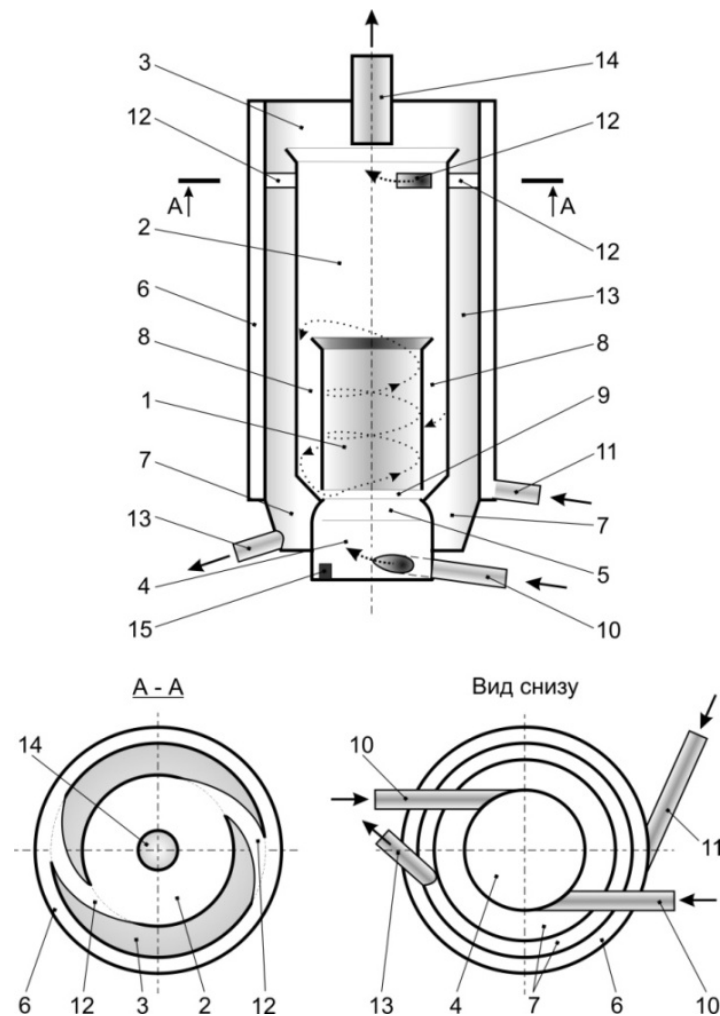


Рис. 1. Схема циклонного реактора поточной газификации

Вихревой поток, поднимаясь по внутренней пристенной области обечайки подготовительной ступени и переходя через конфузур на меньший диаметр нижней первой ступени, получает дополнительную закрутку и ускорение, что способствует интенсификации протекающих процессов.

Непосредственно за конфузуром формируется зона отрывного течения, в которой и расположена кольцевая щель для выхода каналов рециркуляции в топочное пространство. При внутреннем диаметре выпускного отверстия конфузуров менее внутреннего диаметра цилиндрической обечайки нижней первой ступени, перед выходом в кольцевую щель, в нижней части каналов рециркуляции, образуется кольцевая локальная область отрицательного давления. Указанное способствует образованию в каналах рециркуляции противотока газов, дополнительно увлекающего гравитационно осаждаемые частицы кокса и шлака к кольцевой щели. Через кольцевую щель происходит эжекция указанных частиц с их возвратом в топочное пространство нижней первой ступени и дальнейшей стабильной рециркуляцией в вихревом потоке между ступенями реактора. При этом рециркулирующий вихревой поток работает как проточный муфель с теплоносителем в виде горящих частиц кокса и шлака при температуре, не превышающей температуру их размягчения.

Таким образом, полидисперсное топливо, прошедшее первичную термообработку в подготовительной ступени, при переходе в нижнюю первую ступень вместе с продуктами газификации интенсивно перемешивается с рециркулирующим вихревым потоком теплоносителя, способствующим интенсивному повышению температуры, активизации процессов восстановления и дожига.

В процессе натурных исследований процессов рециркуляции «холодных» ($t=23^{\circ}\text{C}$) вихревых двухфазных газо-твердых потоков с использованием прозрачной физической модели реактора, выполненной в натуральном масштабе, определены области отрывного течения между ступенями циклонного реактора и геометрические параметры, влияющие на рециркуляцию частиц топлива [2].

Для оценки влияния геометрических параметров циклонного реактора на рециркуляцию была также разработана численная модель на базе программного комплекса ANSYS-CFX (тестовая лицензия предоставлена компанией Делкам-Урал). Моделировался стабильный режим работы циклонного реактора без горения топлива. В реактор подавался воздух со скоростью 10 м/с, при температуре 25°C . Варьировались следующие геометрические параметры: **a** – угол подвода первичного воздуха, **b** – расстояние между радиусом выхода из конфузуров и радиусом первой ступени, **c** – ширина щели, **d** – расстояние между первой и второй ступенью (рис. 2). Для оценки влияния каждого параметра, была проведена серия экспериментов. Полученная картина распределения давлений и осевых скоростей несущего потока внутри топочного пространства представлена на рис. 3.

В процессе исследований для углов подвода **a** принимались значения 5, 10, 15, 20, 25, 30 градусов. Наибольшая осевая скорость обеспечивается при угле подвода первичного воздуха в 15 градусов. Наибольшая скорость обратного тока, обеспечивается при углах подвода первичного воздуха равных 5 и 15 градусов.

При оценке влияния параметра **b** на рециркуляцию частиц топлива, он варьировался в диапазоне от 10 до 40 мм. При расстоянии в 10 мм рециркуляция частиц топлива отсутствовала и наблюдалась только при значении свыше 20 мм.

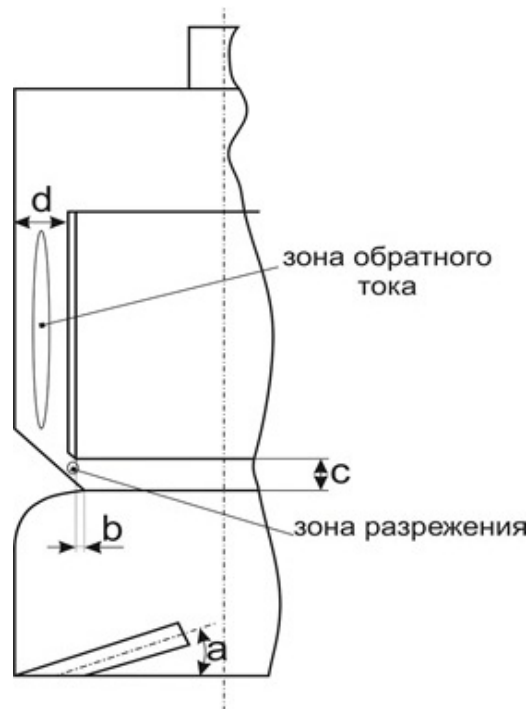


Рис. 2. Зоны замеров давлений и скоростей

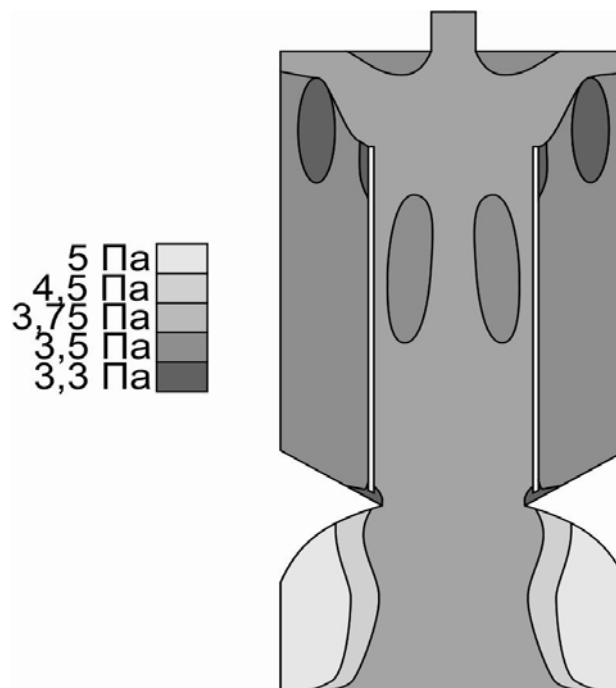


Рис. 3. Распределение давлений внутри циклонного реактора на численной модели

При оценке влияния ширины щели (параметр c) на рециркуляцию частиц топлива, она варьировалась в диапазоне от 5 до 20 мм. При увеличении щели до 20 мм рециркуляция частиц топлива прекращалась. Ширина щели в 15 мм обеспечивает наибольшую отрицательную скорость в зоне обратного тока и более стабильную рециркуляцию частиц топлива.

При оценке влияния расстояния между первой и второй ступенью реактора (параметр d) на рециркуляцию частиц топлива, оно варьировалось в диапазо-

не от 90 до 270 мм. При расстоянии в 90 и 150 мм наблюдалась наибольшая отрицательная скорость в зоне обратного тока, однако рециркуляция частиц топлива отсутствовала и проявилась при расстоянии 210 и 270 мм.

В процессе проведенных исследований на численной модели также оценивалось направление векторов и скорость движения частиц. Пример векторной схемы движения распределение векторов потоков в топочной камере реактора при наличии зоны разрежения и рециркуляции показан на рис. 4.

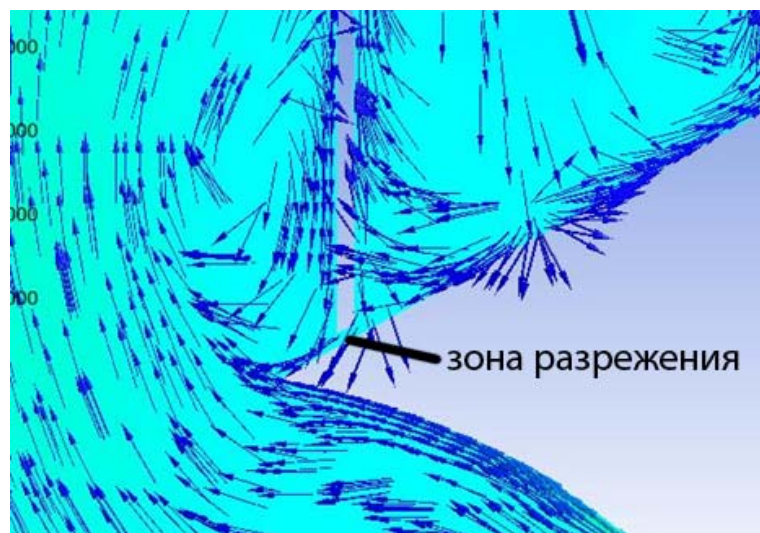


Рис. 4. Распределение векторов движения распределение векторов потоков в топочной камере

Таким образом, разработанная схема циклонного реактора отличается простотой конструкции и возможностью стабильной рециркуляции дисперсных частиц, что должно обеспечить повышение эффективности и экологическую чистоту процесса газификации указанных видов топлива.

Определены геометрические параметры циклонного реактора, обеспечивающие стабильность рециркуляции частиц топлива. Полученные результаты позволяют перейти к натурным испытаниям на «горячем» стенде.

Разработанный циклонный реактор может быть использован в малой и средней энергетике как непосредственно в качестве газификатора, так и в качестве предтопка энергетических котлов для подготовки (прогрев, сушка) дисперсного топлива.

Литература

1. Калишевский, Л.Л. Циклонные топки / Л.Л. Калишевский, Б.Д. Кацнельсон, Г.Ф. Кнорре и др.; под общей редакцией Г.Ф. Кнорре и М.А. Наджарова. – М.: Госэнергоиздат, 1958. – 216 с.
2. Пути повышения энергоэффективности с использованием реактора поточной газификации отходов угледобычи и углеобогащения / А.Е. Майоров, В.В. Зиновьев, В.Н. Кочетков, А.И. Цигельников / Научно-технический, информационно-аналитический и учебно-методический журнал «Энергобезопасность и энергосбережение». 2012 №1. – С. 20–24.
3. Пат. 2406023 Российская Федерация, МПК F 23 С 5/00. Вихревая топка / А.Е. Майоров, В.В. Зиновьев, В.Н. Кочетков, А.И. Цигельников; заявитель и патентообладатель КемНЦ СО РАН. – № 2009134585/06, заявл. 15.09.2009; опубл. 10.12.2010. – 9 с.: ил.