

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ РАЗВИТИЯ ГАЗИФИКАТОРОВ С КИПЯЩИМ СЛОЕМ

Аннотация. Описано современное состояние технологии газификации в установках с кипящим слоем. Приведены схемы существующих реакторов различных производителей. Произведено сравнение основных параметров газификаторов кипящего слоя.

Газификаторы с кипящим слоем (КС) работают на грубоизмельченном твердом топливе с размером частиц 0,5-5 мм, подаваемым в слой, образованный песком и золой. В качестве газифицирующего агента используется воздух или кислород с присадками пара, который проходя через слой, ожигает его. Время пребывания частиц топлива в газификаторе составляет достаточно продолжительное время (десятки секунд). Газификаторы КС работают при температуре ниже температуры плавления золы сжигаемого угля (900-1050 °С) во избежание спекания слоя. Вследствие низкой температуры конверсия углерода получается неполной. Для решения этой проблемы в газификаторах КС недогоревшие частицы улавливаются в золоулавливающем устройстве и либо сжигаются в отдельной установке, либо возвращаются в газификатор.

Преимуществами газификаторов кипящего слоя являются отработанные технологии кипящего слоя и, соответственно, высокие надежность и готовность, высокая адаптивность к топливу (уголь, биомасса и их совместное сжигание, неиспользуемые ресурсы, такие как лигнит), снижение затрат на подготовку топлива к подаче за счет использования грубодисперсных угольных частиц. Основным недостатком является ограниченная углеродная конверсия, особенно для менее реактивного топлива (например, каменный уголь), значительное количество углерода в золе. Повысить степень конверсии углерода можно путем повышения температуры, однако это может привести к размягчению золы и спеканию кипящего слоя.

Сейчас наряду с хорошо отработанными газификаторами с КС разрабатываются газификаторы 3 поколения.

Газогенератор кипящего слоя *AFB* (*Ash Agglomerated, Fluidized-Bed Reactor*) с агломерацией золы разработан Институтом углехимии Китайской академии наук (*Institute of Coal Chemistry of Chinese Academy, ICC*) [1]. Аналогом газогенератор *AFB* является *U-Gas*. Газогенератор (рис. 1) имеет высокую адаптивность к углям с различной реакционной способностью (бурый уголь, каменный уголь, антрацит, нефтяной кокс и т.д.). Температура в газогенераторе 950–1100 °С, давление 0,7 МПа. Эффективность преобразования углерода около 90 %. Содержание углерода в золе после газогенератора менее 10 %. В настоящее

время газогенераторы АFB производительностью по углю до 324 т/сутки находятся в эксплуатации на трех заводах.

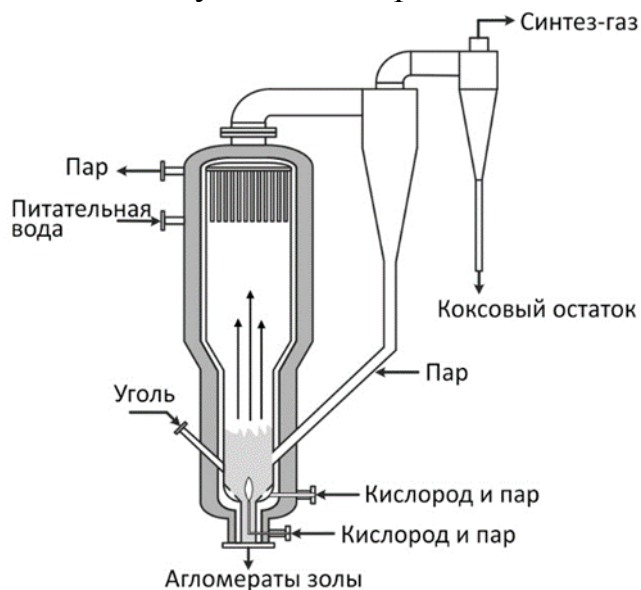


Рис. 1. Газификатор кипящего слоя АFB

Газификация лигнитов протекает интенсивнее, чем битуминозного угля. Единичная мощность установки может быть от 300 до 1200 т/сут. (поточные от 1100 до 2000 т/сут.). В настоящее время испытаны пилотная (6 т/сут., Япония, 2010-2014 гг.) и опытно-промышленная (50 т/сут., Индонезия, 2015 г.) установки.



Рис. 2. Газификатор кипящего слоя TIGER

В Индии компания *Bharat Heavy Electrical Limited (BHEL)* разрабатывает газификатор кипящего слоя под давлением на кислородном дутье с присадками пара ($p = 0,3-1,3$ МПа, $t = 980-1050$ °С) для высокозольных ($A^d \sim 40-50$ %) индийских углей. В процессе газификации происходит десульфуризация синтез-газа [3]. Проведя испытания пилотной и опытно-промышленной установок производительностью 18 и 168 т/сут., *BHEL* сейчас разрабатывает газификатор производительностью по углю 1700 т/сут. для *IGCC* мощностью 100 МВт.

Газификатор *TIGER (Twin IHI Gasifier)* разработан корпорацией *IHI* (Япония) в первую очередь для сжигания лигнитов [2]. Установка (рис. 2) состоит из двух основных частей – камеры сгорания (*combustor*) и собственно газификатора, работает при атмосферном давлении. Камера сгорания работает по принципу циркулирующего кипящего слоя на воздушном дутье, газификатор работает на паровом дутье по принципу пузырькового кипящего слоя. Могут сжигаться уголь, древесина, биомасса, при этом паровая газифика-

ция лигнитов протекает интенсивнее, чем битуминозного угля. Единичная мощность установки может быть от 300 до 1200 т/сут. (поточные от 1100 до 2000 т/сут.). В настоящее время испытаны пилотная (6 т/сут., Япония, 2010-2014 гг.) и опытно-промышленная (50 т/сут., Индонезия, 2015 г.) установки.

В газификаторе используется песок для обеспечения интенсивной теплопередачи и пар (как источник кислорода), температура 800-900 °С. Сингаз из верхней части поступает в циклон, где отделяются твердые частицы, и отсепарированные частицы возвращаются в реактор. Смолы, не прореагировавшие частицы и охлажденный песок из верхней части кипящего слоя транспортируются в камеру сгорания, где смолы и частицы полукочка полностью сгорают до CO_2 , а песок снова нагревается за счет выделившейся теплоты сгорания. Использование пара вместо кислорода увеличивает содержание H_2 в синтез-газе.

Компания *Herman Research Laboratories (HRL)* в Австралии разрабатывает газификатор кипящего слоя для высоковлажных (до 62 %) бурых австралийских углей – со стационарным пузырьковым кипящим слоем на воздушном дутье, давление 2,5 МПа, температура около 900 °С [4]. Уникальность технологии *HRL* состоит в использовании теплоты горячего синтез-газа для сушки высоковлажных углей (вместо генерации пара в газоохладителе) в поточном осушителе с восходящим потоком. Осушенный уголь отделяется в циклоне и затем шнеком подается в газификатор. Эту технологию называют еще *Integrated Drying & Gasification Combined Cycle (IDGCC)* – интегрированный комбинированный цикл сушки и газификации.

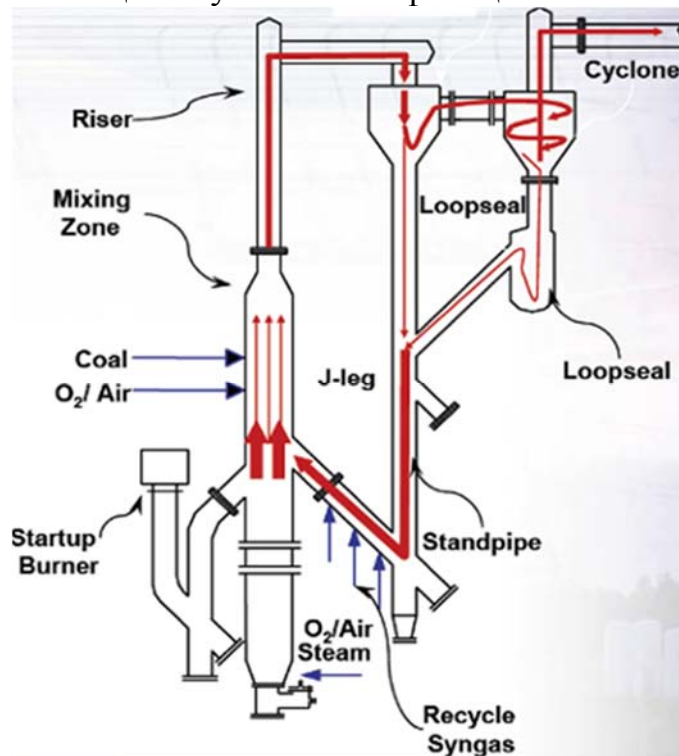


Рис. 3. Транспортный газификатор

Развитие технологий кипящего слоя требует снижения капитальных затрат, что связано, в первую очередь, с габаритами реактора. Это возможно при использовании газификаторов кипящего слоя с ультраплотным потоком, обеспечивающем высокую удельную тепловую нагрузку. Технология *TRIG* («*Transport Integrated Gasification*») проводит газификацию в транспортируемом по замкнутому контуру потоке мелких частиц, рис. 3 [5]. Технология, разработанная в США, позиционируется для использования в энергетических ПГУ (на воздушном дутье) и для производства жидких топлив и химических продуктов (на кислородном дутье). На базе этой технологии разрабатываются проекты ПГУ с внутрицикловой газификацией углей в кипящем слое электрической мощностью от 40 до 550 МВт.

Список использованных источников

1. Ningsheng C. Development of Coal Gasification & Polygeneration in China // IEA – MOST Workshop on Fossil Fuel Technologies, Beijing, PRC, June 11, 2010.
2. Introduction of TIGAR and research activities related to Polish coals/ IHI Corporation. 2014.
3. Maitra P., Francis A. The Jamnagar Gasification Project // Gasification Technologies Conference, 26-29 October 2014.
4. Higman C., van der Burgt M. Gasification. New York : Elsevier Science, 2003. 391 p.
5. TRIG for Low Rank Coal: A New Perspective on IGCC // Gasification Technologies Conference, 26-29 October 2014.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант № 14-08-01226 А.