

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ ЛАБОРАТОРИИ «ЧИСТЫЕ УГОЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ» НАЗАРБАЕВ УНИВЕРСИТЕТ

**Авторы:** Сулейменов К.А., Каспиев А.Г., Исмаилов А.Д.

**Организация:** Частное учреждение «Nazarbayev University Research and Innovation System», г. Нур-Султан, Казахстан

Наличие весьма значительных запасов угля на территории Казахстана способствовало приоритетному развитию угольной энергетики. Основным энергетическим углем для тепловых электростанций (ТЭС) страны является высокочольный Экибастузский уголь, доля которых в угольном балансе ТЭС составляет около 90%. При этом, все угольные ТЭС оснащены котлами с пылеугольным факельным сжиганием. Следует также отметить, что Экибастузский уголь является низкосортным углем.

При сжигании низкосортных углей в традиционных котлах и с пылеугольным сжиганием, наблюдается ряд проблем связанных с вопросами эффективного сжигания такого топлива и необходимостью соблюдения экологических характеристик, касающихся снижения выбросов летучей золы, оксидов азота и серы из котлоагрегата в атмосферу. В связи с этим в мире идет постоянный поиск и разработка новых технологий сжигания твердого топлива позволяющих обеспечить не только эффективное сжигание углей, но и обеспечивающие необходимые экологические характеристики.

Одним из перспективных направлений в решении проблем эффективного и экологически чистого процесса сжигания низкосортного угля является их сжигание в топках с циркулирующим кипящим слоем (ЦКС).

Для исследования возможности сжигания низкосортных углей, а также получения необходимых экспериментальных данных для проектирования и внедрения котлов с ЦКС в Казахстане в АОО «Назарбаев Университет» создана лаборатория «Чистые угольные технологии». В лаборатории созданы следующие экспериментальные установки для исследования процесса пиролиза, газификации и сжигания твердого топлива:

1. Стендовая установка для исследования пиролиза и газификации угля в пузырьковом кипящем слое (ПКС) и циркулирующем кипящем слое (ЦКС) – УГ-ЦКС;
2. Стендовая установка для исследования сжигания угля в ПКС и ЦКС – КУ-КС-ЦКС;

3. Стендовая установка предтопок-газификатор со сверхадиабатическим горением – ПГСАГ;
4. Изотермическая установка для исследования гидродинамики топочного контура ЦКС – ИУ-ЦКС.

В течение последних двух лет были проведены исследования: по получению мелкодисперсного полукокса Шубаркульского угля в режиме термоокислительного пиролиза (исследования закончены – положительно) и по сжиганию высокозольного Экибастузского угля и отходов его обогащения (зольность исследованного угля 37-79%) в ПКС и ЦКС. Получены данные по эффективности горения, по эмиссии оксидов азота и серы в диапазоне температур кипящего слоя 750-1000оС. Показана возможность и эффективность сжигания отходов зольностью до 80% в кипящем слое.

Для обеспечения работы экспериментальных установок в лаборатории имеются следующие общецеховые системы:

1. Система контроля, измерения и регулирования основных параметров и режимов экспериментальных установок.
2. Система подачи воздуха и отвода дымового газа в составе 3-х высоконапорных воздуходувок, расходомерных устройств, компрессоров, дымососов, воздухопроводов и газоходов.
3. Система аспирации помещения лаборатории (3 системы).
4. Система приготовления угля (установлена в отдельном помещении -контейнере) в составе щековой дробилки, рассевочного узла, сушилки угля с электровоздухоподогревателем, системы аспирации помещения.
5. Система оборотного водоснабжения в составе вентиляторной градирни, напорной станции подачи охлаждающей воды на установки, промежуточного накопительного бака.
6. Система хранения, подачи и измерения кислорода в составе кислородной рампы на шесть баллонов, расходомера кислорода, кислородопроводов, запорной и регулирующей арматуры.
7. Система приготовления и подачи пара в составе парового электрического котла производительностью до 50 кг/час с измерительным блоком, расходомера пара, пароперегревателей первой и второй ступеней, паропроводов, запорной и регулирующей арматуры.

*1. Стендовая установка газификатор-пиролизер - УГ-ЦКС*

На рис. 1 представлена принципиальная технологическая схема Стендовая установка газификатор-пиролизер - УГ-ЦКС

Установка предназначена для исследования термоокислительного пиролиза и газификации угля в режиме ПКС и ЦКС. Расход угля до 70 кг/час, фракционный состав 0-25 мм (в зависимости от типа угля и поставленной задачи). Основные узлы образующие топочный контур ЦКС: топка-реактор 1 (изготовлена из жаропрочной стальной трубы внутренним диаметром 150 мм и высотой 5,6 м), технологический циклон 2, стояк 21, пневмомеханический затвор 3.

Уголь из бункера 4 шнековым питателем 5 по топливопроводам 15 пневмотранспортом направляется в топку 1. Воздух в топку и другие узлы установки подается воздуходувкой 22. При этом первичный и вторичный воздух подогревается в электровоздухоподогревателях 13 до требуемой по режиму температуры. Воздух на пневмотранспорт, пневмомеханический затвор 3, на камеру сгорания 8 подается без подогрева. При этом, подогрев первичного воздуха в электровоздухоподогревателе при растопке установки предусмотрен до 700-750оС. В рабочем режиме подогрев первичного и вторичного воздуха может регулироваться от 50 до 300оС. Рабочие температуры в слое (ПКС или ЦКС) составляют 600-1100оС (в зависимости от типа угля и поставленной задачи).

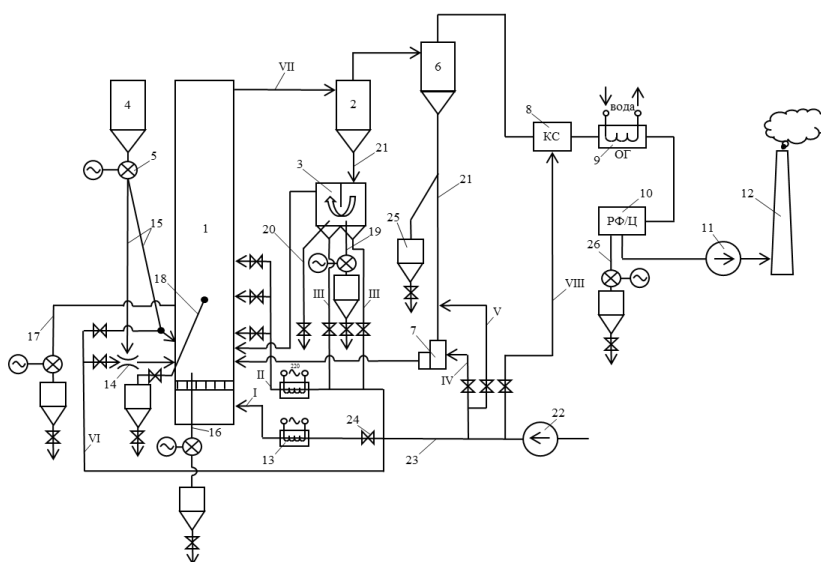


Рис. 1 Технологическая схема стендовой установки газификатора УГ-ЦКС

Крупные частицы коксозольного остатка (полукокс), образующиеся при пиролизе или газификации угля, выводятся (при необходимости) из топки водоохлаждаемыми шнеками-дозаторами 16 и 17 с регулируемой производительностью в накопительные бункера. Образующиеся в топке 1 генераторные газы и мелкие частицы

недогоревшего угля и золы выносятся из топки газовым потоком и поступают в технологический циклон 2, где происходит отделение большей части твердой фазы от газового потока. Выделившийся коксозольный остаток по стояку 21 поступает в пневмомеханический затвор 3, состоящий из двух камер кипящего слоя: приемной и передающей. Коксозольный остаток из стояка и приемной камеры затвора 3 поступает в передающую камеру затвора 3 и далее перепускается в топку 1, образуя, таким образом, циркуляционный поток твердой фазы по топочному контуру. Из приемной камеры затвора готовый полукокс, водоохлаждаемым шнеком-дозатором 19 выводится (при необходимости) в бункер накопитель.

Неуловленные в технологическом циклоне 2 мелкие частицы коксозольного остатка поступают в санитарный циклон 6 и далее выводятся в бункер 25. Из санитарного циклона 6 генераторные газы по неохлаждаемому газоходу поступают в камеру сгорания 8, куда по системе воздухопроводов подается воздух. После камеры сгорания дымовые газы поступают в трубчатый газо-водяной охладитель газа 9 для снижения температуры дымовых газов до уровня, требуемой по условиям работы дымососа. После охладителя газов 9, дымовые газы поступают во второй санитарный циклон 10 (байпас рукавного фильтра) для обеспечения необходимой по санитарным нормам очистки газов. После окончательной очистки, дымовые газы дымососом 11 отводятся в дымовую трубу 12 и сбрасываются в атмосферу.

На установке УГ-ЦКС были проведены исследования по разработанной и запатентованной технологии получения мелкодисперсного полукокса Шубаркульского угля и генераторного газа в режиме термоокислительного пиролиза. Была отработана технология частичной воздушной газификации и термоокислительного пиролиза малозольного Шубаркульского угля, получены данные по влиянию режимных и конструктивных параметров на качество получаемого полукокса и образующегося генераторного газа.

Для продолжения работ по исследованию воздушной, паровоздушной и парокислородной газификации твердого топлива, отходов углеобогащения и ТБО установка УГ-ЦКС также оснащена системами подготовки и подачи в установку высокотемпературного пара и кислорода.

## *2. Комбинированная стендовая установка (КУ-КС-ЦКС)*

Установка предназначена для исследования сжигания угля в режиме ПКС и ЦКС. Расход угля, углеотходов до 100 кг/час, фракционный состав 0-25 мм (в зависимости от

типа сжигаемого топлива, зольности и поставленной задачи). Топка изготовлена из жаропрочной стальной трубы внутренним диаметром 220 мм и высотой 5,75 м.

На рис. 2 представлена принципиальная технологическая схема установки КУ-КС-ЦКС. В целом технологическая схема КУ-КС-ЦКС подобна схеме УГ-ЦКС. Основное отличие заключается в наличии двух технологических циклонов 10 и 19 включенных последовательно, в также двух систем рециркуляции состоящих из двух стояков 11 и двух пневмомеханических затворов 12. Для регулирования температуры слоя без изменения форсировки слоя (расхода угля), в средней и верхней части корпуса топки 1 установлены водоохлаждаемые кольцевые сегменты 2, имитирующие внутритопочные настенные вертикальные поверхности нагрева котла с топкой ЦКС, а также предусмотрены выдвижные поверхности охлаждения слоя 3. Принцип действия КУ-КС-ЦКС аналогичны работе УГ-ЦКС. Отличие только в завершенности процесса горения угля в топке. В установке КУ-КС-ЦКС осуществляется режим полного сжигания с избытком воздуха более 1.

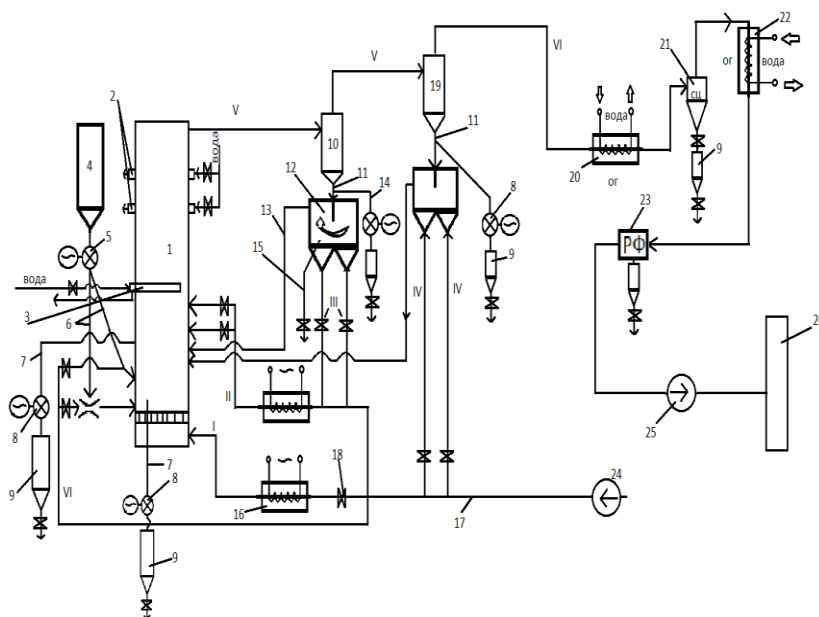


Рис. 2 Технологическая схема комбинированной установки КУ-КС-ЦКС

На установке КУ-КС-ЦКС были проведены опыты по сжиганию нескольких партий высокозольного Экибастузского угля и отходов его обогащения, фракционным составом 0-8 мм, зольностью от 37% до 79% в режиме ПКС и ЦКС. Получены данные по эффективности горения, по теплообмену между слоем и внутритопочными поверхностями нагрева, по эмиссии оксидов азота и серы в диапазоне температур кипящего слоя 750-1000оС. Показана

### 3. Предтопок-газификатор сверхадиабатического горения (ПГСАГ)

Установка предтопок-газификатор сверхадиабатического горения -ПГСАГ предназначена для исследования горения или газификации высокозольных углей и отходов углеобогащения, ТБО и других углеродсодержащих материалов, которые невозможно сжечь или газифицировать используя традиционные технологии – слоевое или факельное сжигание.

На рис. 3 представлена принципиальная технологическая схема ПГСАГ. Отходы углеобогащения фракционным составом 5-20 мм из бункера 1 под действием собственного веса по топливоподающей трубе 2 подается в топку 4, где под воздействием высоких температур происходит его газификация и горение в слоевом режиме. Рабочая высота слоя горящего угля определяется расстояние конца топливоподающей трубы 2 от воздухораспределительного устройства 5. При этом данная величина может регулироваться. В топку через воздухораспределительную решетку по системе воздухопроводов 9 подается холодный воздух. Для предотвращения достижения температуры в топке выше температуры плавления золы угля (ориентировочно 1100-1150оС) в топку совместно с воздухом из парового котла 11 по системе паропроводов 12 подается необходимое количество пара с температурой 200-250оС.

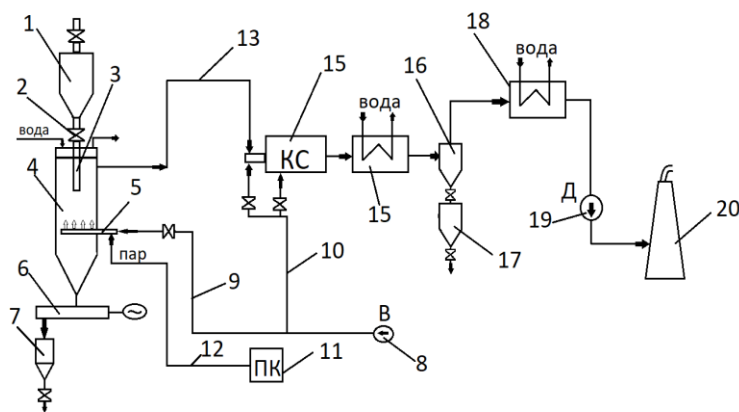


Рис. 6 Принципиальная технологическая схема ПГСАГ

Продукты газификации с температурой 400-600оС из топки по газоходу 13 поступают в камеру сгорания генераторных газов 15, куда также подается воздух по воздуховодам 10. Камера сгорания предназначена для предотвращения попадания в атмосферу генераторных газов содержащих  $H_2$  и  $CO$ . Из камеры сгорания высокотемпературный газовый поток поступает в два последовательно расположенных газо-водяных охладителя газов 15 и 18, где охлаждаются до температуры, не

превышающей рабочую температуру дымососа. Между охладителями газов 15 и 18 расположен санитарный циклон 16, уловленная зола удаляется в бункер 17. Очищенные дымовые газы дымососом 19 сбрасываются в дымовую трубу 20.

Исследования по сжиганию высокосольных отходов углеобогащения Экибастузского угля начаты в 2020 г.

Лаборатория «Чистые угольные технологии» Назарбаев Университета приглашает к сотрудничеству научно-исследовательские, научно-производственные, производственные организации в проведении исследований на существующих и вновь создаваемых экспериментальных установках.