

УДК 536.4

## ФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ СЖИГАНИИ УГЛЯ КАРА-КЕЧЕ

А.С. Богданов

Произведено сравнительно-аналитическое сжигание угля Кара-Кече встречным потоком кислорода при различных скоростях подачи с целью изучения процессов горения.

*Ключевые слова:* угли; горение; гетерогенный поток.

## THE PHYSICAL PROCESSES FROM BURNING OF KARA-KECHE COAL

A.S. Bogdanov

The article gives comparative and analytical combustion the Kara-Keche coal by a counter flow oxygen at different speeds of giving for studying combustion processes.

*Keywords:* coals; burning; heterogeneous flow.

**Введение.** Уголь до настоящего времени остается самым доступным и приемлемым источником тепловой энергии. Наряду с выделением теплоты, при его сжигании возникают процессы образования и перехода сопутствующих углероду веществ в гетерогенные газовые потоки. Углеродистые и сланцевые отложения представляют собой благоприятную геохимическую среду для первичного накопления многих промышленно важных элементов. Кроме того, в угольных месторождениях установлено присутствие золота и платиноидов [1], что позволяет рассматривать уголь в качестве перспективного сырьевого источника таковых. Золото и платиноиды содержатся в угле в составе гуминовых кислот [2] и при его сжигании образуются наноразмерные частицы, которые не улавливаются промышленными электрофильтрами и выбрасываются в дымовую трубу. Изучением улавливания этих частиц из дымовых газов занимаются в АмурНИЦ ДВО РАН путем сжигания угля и конденсации паров воды, возникающих при реакции горения [3]. Платиноиды оказываются в конденсате и далее извлекаются из него со степенью извлечения 75–85 %. Способы сжигания, а соответственно и происходящие при сжигании и конденсации паров воды процессы, определяют степень извлечения платиноидов из продуктов реакции.

Процессы, сопутствующие горению углей, описаны в [4]. Проведенные нами ранее исследования [5–8], указывают, что для последующего эффективного извлечения золота и платиноидов из продуктов горения наиболее целесообразным яв-

ляется способ вертикального послыйного сжигания угля при распространении фронта горения навстречу потока кислорода в цилиндрическом реакторе.

Задача данного исследования – изучение динамики, особенностей и сопутствующих явлений горения угля Кара-Кече.

**Эксперимент.** Исследования проводили на экспериментальной установке, показанной на рисунке 1. Реактор изготовлен из стальной трубы диаметром 50 мм, длиной 78 см. Снаружи корпус реактора теплоизолирован асбестом и жестяным кожухом. Уголь Кара-Кече массой 300 г, с размером частиц 2,5–4 мм, (1) помещался в реактор (2). Зажигание угля производили разъемной нихромовой спиралью (4), от аккумуляторной батареи (5). Процесс сжигания проводили путем подачи кислорода с расходом 3–6 л/мин от кислородного баллона (6) через редуктор (7), ротаметр (8) и канал подачи (7), собственно в камеру сгорания. Фронт горения (ФГ) распространялся навстречу потока кислорода. С целью определения скорости его распространения в корпусе реактора на расстоянии 10 см друг от друга располагались две термопары ( $t_1$ ,  $t_2$ ) (3). В момент прохождения ФГ термопары регистрируют максимумы температур ( $t_{max}$ ). Зная расстояние между термопарами и промежуток времени между максимумами температур на термопарах, определяли скорость распространения ФГ. Для получения статистики данных по процессу сжигания проводили по три эксперимента на каждом режиме расхода кислорода.

**Обсуждение.** Серии проведенных экспериментов показали, что при загрузке угля большей

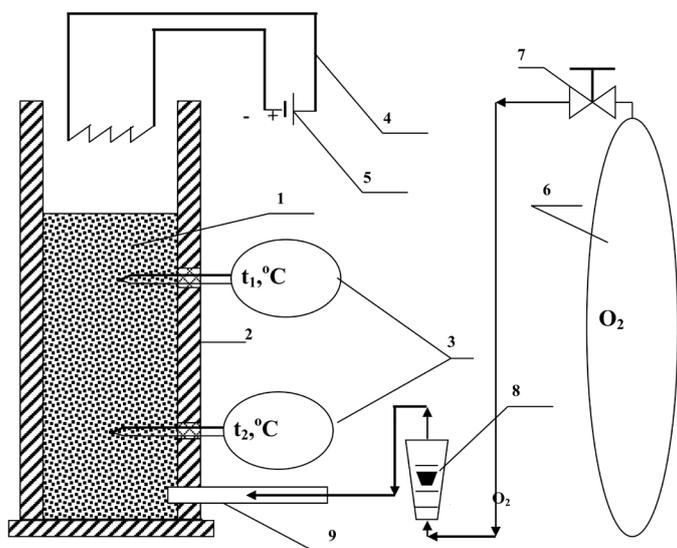


Рисунок 1 – Принципиальная схема экспериментальной установки:

- 1 – уголь;
- 2 – корпус реактора;
- 3 – термопары;
- 4 – зажигательная спираль;
- 5 – аккумуляторная батарея;
- 6 – кислородный баллон;
- 7 – редуктор; 8 – ротаметр;
- 9 – канал подачи  $O_2$

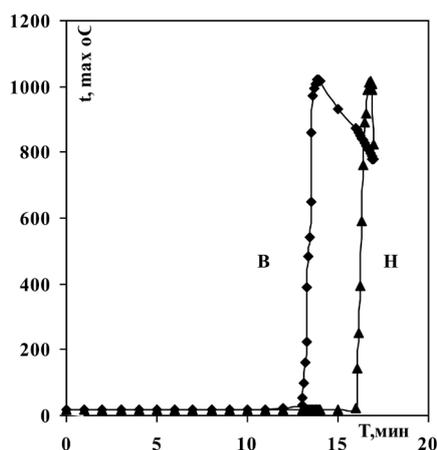


Рисунок 2 –  $t_{max}$  на термопарах, при загрузке 600 г угля

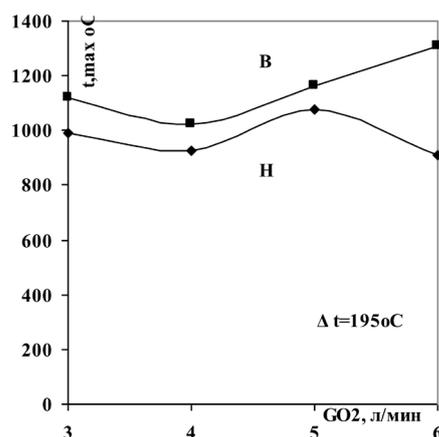
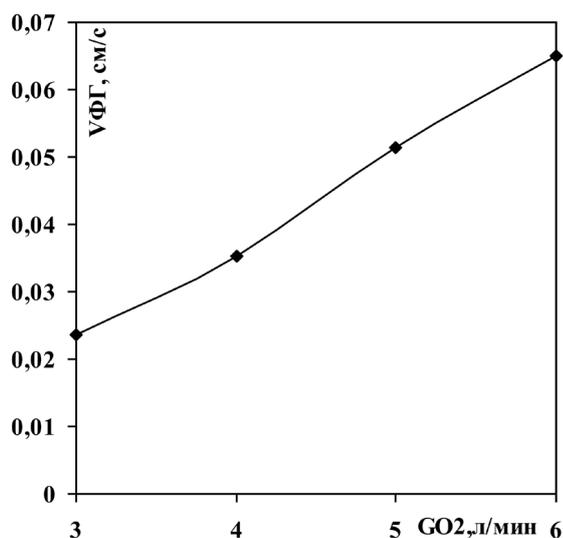


Рисунок 3 –  $t_{max}$  на термопарах, при загрузке 300 г угля при разных расходах  $O_2$

массы (600 г и более), с заполнением реактора на три четверти его объема, значимых отличий  $t_{max}$  на термопарах не наблюдалось, что видно на графике зависимости температур по времени эксперимента (рисунок 2) При загрузке 300 г угля, в зависимости от расхода кислорода, пики максимумов температур на верхней и нижней термопарах значительно отличались по значению (рисунок 3).

Возникло предположение, что значительное влияние на температуру и экзотермические реакции оказывает величина насыпного слоя угля, которая уплотняет нижерасположенные слои угля и несколько увеличивает площадь тепло- и массообмена в единице объема. При этом возникает

большее гидравлическое сопротивление, которое, в свою очередь, увеличивает давление, влияющее на возгон потоков отгоняемых летучих продуктов горения. Так как загружаемые 300 г угля занимали всего треть пространства реактора (25 см его длины), насыпной слой не превышал 5 см над верхней термопарой и был менее плотным. Поэтому восходящие потоки, не испытывая гидравлического сопротивления, при более высоких показаниях температуры на верхней термопаре устремлялись выше по каналу реактора. При проходе ФГ нижней термопары, давление слоя угля в 15 см уплотняло нижерасположенные слои и увеличивало площадь тепло- и массообмена в единице объема, а продук-

Рисунок 4 – Зависимость скорости ФГ от расхода  $O_2$ 

ты горения преодолевали большее расстояние, испытывая большее гидравлическое сопротивление. Это влияло на ход экзотермических реакций и приводило к различию температурных значений между верхней и нижней термопарами в  $\Delta t = 195$  °С. Кроме того, было установлено, что скорость ФГ также изменялась в зависимости от расхода кислорода (рисунок 4).

**Выводы.** Расхождение показаний температур на верхней и нижней термопарах можно объяснить неравномерностью распределения частиц по размерам и сечению в реакторе, что сопровождается с нелинейной зависимостью газовых потоков и летучих продуктов по этому сечению, а также величиной насыпного слоя. ФГ распространяется локально и неравномерно, но с наибольшей скоростью по областям с наименьшим гидравлическим сопротивлением, прямо пропорционально расходу кислорода.

### Литература

1. Ермолаев Н.П. Механизмы концентрирования благородных металлов в терригенно-углеродистых отложениях / Н.П. Ермолаев, Н.А. Созинов, Р.П. Котина, Е.А. Пашкова. М.: Научный мир, 1999. 124 с.
2. Арбузов С.И. Формы нахождения золота в углях / С.И. Арбузов, С.С. Ильенко // Геохимия. М.: Ин-т геологии и нефтегазового дела ТПУ (ИГНД ТПУ), 2012. С. 145.
3. Кузьминых В.М. Установка для извлечения золота из дымовых газов / В.М. Кузьминых, А.П. Сорокин, А.Н. Лебедев, В.Л. Подберезный, П.Р. Курбатов / Патент РФ № 93803.
4. Мухленов И.П. Общая химическая технология: в 2 ч. / И.П. Мухленов, А.Я. Авербух, Д.А. Кузнецов, А.Г. Амелин. М.: Высшая школа, 1977. Том 2. С. 149.
5. Богданов А.С. Сжигание углей в цилиндрическом канале / А.С. Богданов // Известия КГТУ им. И. Раззакова. Бишкек, 2014. С. 145.
6. Сорокин А.П. Закономерности распределения, формы нахождения и технологии извлечения золота из бурых углей / А.П. Сорокин (рук. проекта), В.И. Рождествина, В.М. Кузьминых, Т.Б. Макеева, А.А. Киселева, Н.А. Бородин, Н.Н. Козлова, Л.А. Чурсина, Н.Г. Сергачева, И.А. Зубенко, В.Н. Борисов, Т.В. Артеменко, А.Ю. Агафонов, К.С. Беликов // Научные основы инновационных энергоресурсосберегающих экологически безопасных технологий оценки и освоения природных и техногенных ресурсов. Владивосток: Амурский научный центр ДВО РАН, 2009–2011. С. 386–402.
7. Назарова Н. Качественная характеристика углей Киргизии / Н. Назарова. Фрунзе, 1970. С. 31–37.
8. Джаманбаев А.С. Угли Киргизии и их рациональное использование / А.С. Джаманбаев. Фрунзе, 1980. С. 35–50.