

**УДК 662.741**

РОМАНОВА А. Е., аспирант группы ХТа-241 (КузГТУ)  
КРАСУЛИН Н. А., инженер 1 категории ЦЗЛ (ПАО «Кокс»)  
Научный руководитель: ЧЕРКАСОВА Т. Г., д.х.н., профессор (КузГТУ)  
г. Кемерово

## **ПОВЕДЕНИЕ КАМЕННЫХ УГЛЕЙ РАЗЛИЧНЫХ МАРОК ПРИ КОКСОВАНИИ**

В настоящее время коксохимические предприятия предъявляют высокие требования как к технологии производства, так и непосредственно к продуктам коксования. В связи с этим разрабатываются новые методы, связанные с прогнозированием качества кокса, материальным расчетом процесса коксования, а также повышением энергетической эффективности коксовой батареи [1, 2]. Как следствие, тема данной работы является несомненно актуальной и к тому же соответствует Приоритетным направлениям развития науки, технологий и техники Российской Федерации.

Если говорить о энергоэффективности и ресурсосбережении технологии коксования, то большой интерес в этой связи представляют данные о теплоемкости, тепло- и температуропроводности твердых горючих ископаемых, а также об изменении этих параметров в ходе термической обработки: именно перечисленными свойствами в значительной мере определяются продолжительность, эффективность и энергетический итог производственного процесса [3, 4].

Тепловые характеристики различных марок коксующихся углей дают возможность в совокупности с другими факторами (степень помола, зольность, влажность, наличие минеральных примесей) детально изучить многие стороны процесса коксования [5, 6].

Исследование перечисленных аспектов позволит классифицировать угли по их тепловым свойствам, определять степень влияния долевого участия углей различных марок на величину теплоты коксования шихты, более точно оценивать производительность коксовых батарей, а также устанавливать необходимые изменения теплового режима вкупе с изменением состава и свойств шихты [7, 8, 9].

Сложные процессы, протекающие при коксовании, приводят к изменению тепловых свойств нагревающейся массы и получению кокса, имеющего иную структуру, чем исходная шихта. Как следствие, эти процессы создают определенные трудности при проведении расчетов для описания нагрева угольной шихты. Данное обстоятельство усугубляется еще и тем, что передача тепла осуществляется не только теплопроводностью, но и движущимися газами и парами [10, 11].

**Цель настоящей работы** состоит в исследовании поведения каменных углей различных марок при термической обработке без доступа воздуха.

Для проведения исследования были отобраны следующие марки углей: К1, КС и Ж1. Угли были высушены до влажности не более 1%. Для исследования использовали помол углей 100% (фракция 0-3мм – 100%).

Измерение температуры в коксовой камере производилось при помощи термопар с регистрацией температур каждую минуту у стенок камеры и в центре загрузки угля. Основной задачей эксперимента стало определение динамики нагрева угля, а также определение равномерности распределения температур.

На рисунке 1 представлены кривые роста температуры в центре загрузки углей во время их коксования.

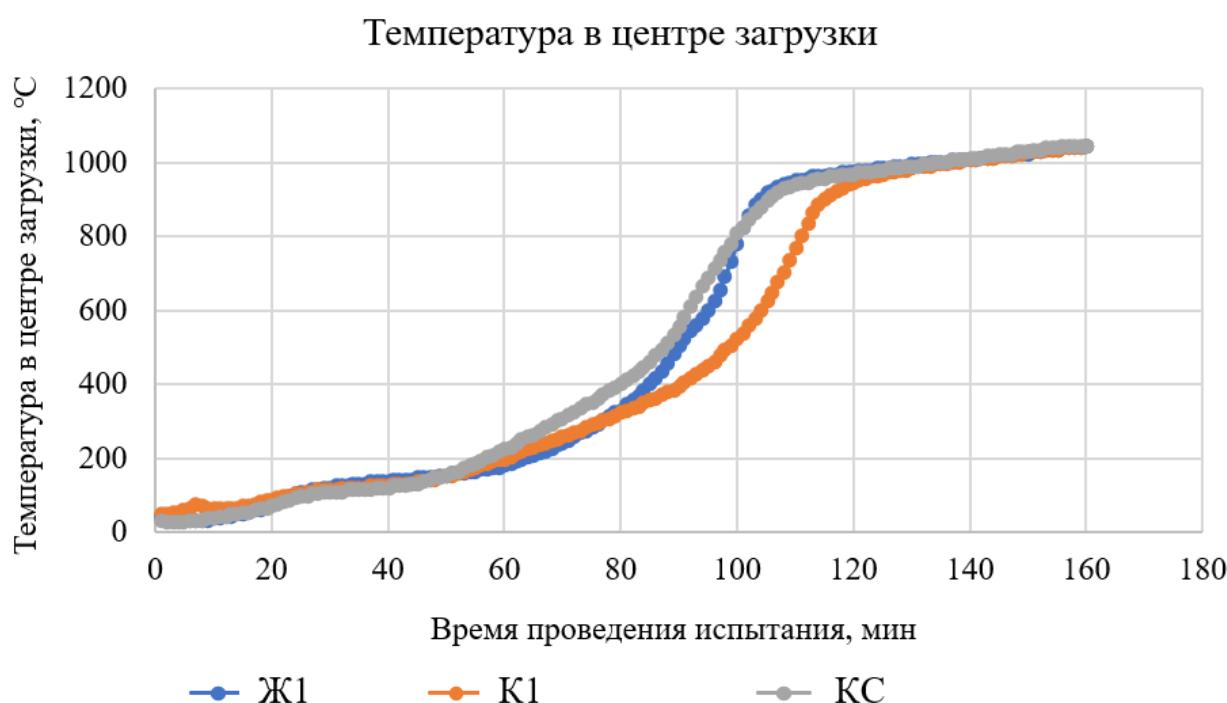


Рисунок 1. Изменение температуры в центре загрузки различных марок углей (Ж1, К1, КС)

Кривые роста температуры углей (см. рис. 1) имеют схожий вид. До 300°C нагрев линеен, далее рост температуры приобретает параболическую зависимость, а после 950°C зависимость вновь становится линейной. В целом эти физико-химические превращения можно связать с основными стадиями коксования: выделением влаги и удалением растворенных в угле газов, далее переходом органической массы топлива в пластическое состояние и окончательной стадией формирования кокса.

Между кривыми марок Ж1, К1 и КС существуют некоторые различия в максимальной скорости нагрева, а также незначительная разница в конечной температуре. Так, максимальная скорость роста температуры для угля марки Ж1 составила 46,1°C/мин; для угля марки К1 – 33,4°C/мин; для угля марки КС

– 28,7°C/мин. Конечная температура процесса коксования марки Ж1 составила 1043,7°C; марки К1 – 1044,3°C; марки КС – 1048,6°C.

Для продолжения исследования были отобраны еще несколько марок углей: К2, КО, Ж2 и ГЖ. Угли были аналогичным образом высушены и рассеяны на сите 3 мм.

Для оценки различий в скорости нагрева центра загрузки углей были составлены зависимости изменения температуры от времени процесса (см. рис. 2).

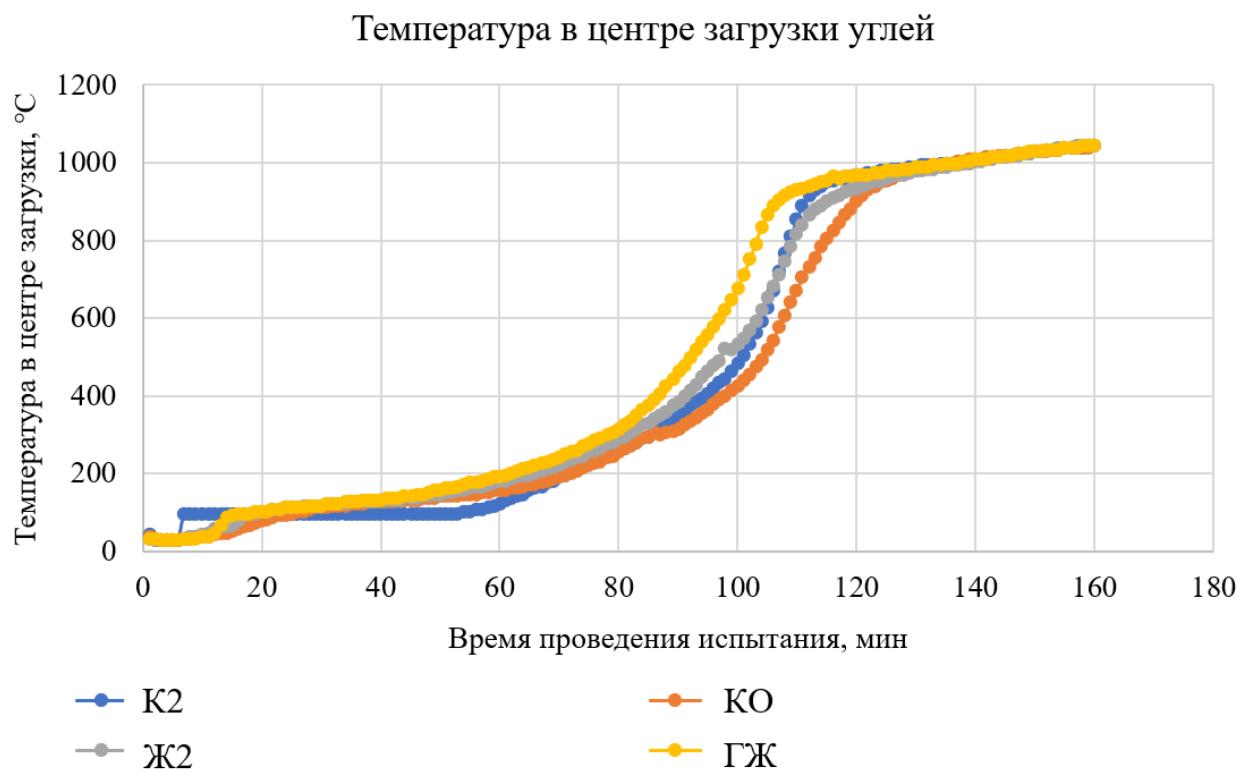


Рисунок 2. Изменение температуры в центре загрузки различных марок углей (К2, Ж2, КО, ГЖ)

Для более точного определения различий в скорости нагрева были исследованы участки, на которых отмечается интенсивный рост температуры (т.е. со скоростью нагрева более 10°C/мин.). Для угля марки К такой участок находится в диапазоне температур 324,0–930,8°C; максимальная скорость нагрева составляет 69,7°C/мин., а средняя — 23,8°C/мин. Диапазон температур для участка интенсивного роста угля марки КО – 344,8–939,1°C; максимальная скорость нагрева — 36,0°C/мин., средняя — 19,5°C/мин. Диапазон для угля марки Ж – 352,1–892,3°C; максимальная скорость нагрева — 36,2°C/мин., средняя скорость нагрева — 19,7°C/мин. Диапазон для угля марки ГЖ – 327,5–915,3°C, максимальная скорость нагрева — 45,2°C/мин., средняя — 21,4°C/мин.

Наиболее быстрый рост температуры наблюдается при коксовании угля марки К2, а наименьшая скорость нагрева определена для угля марки КС. Следует отметить конечные температуры коксования для этих углей,

поскольку они находились в лабораторной камере коксования равное время. Так, для угля К2 конечная температура в центре загрузки составляет 1042,2°C; для угля КС – 1048,6°C; для угля Ж2 – 1045,0°C; для угля ГЖ – 1043,0°C. Конечная температура в исследуемых загрузках близка: максимальная разница составляет 6,8°C.

На основании проведенной работы зафиксировано разное поведение каменных углей различных марок при изменении температуры, а именно — при нагреве. Отличия заключаются в максимальной скорости нагрева ( $V_{max}$ ) и конечной температуре процесса ( $T_{конеч.}$ ). Конкретные результаты отображены в таблице 1.

Таблица 1. Поведение каменных углей различных марок при коксовании

Марка угля	К1	КС	Ж1	Ж2	К2	КО	ГЖ
$V_{max}$	33,4	28,7	46,1	36,2	69,7	36,0	45,2
$T_{конеч.}$	1044,3	1048,6	1043,7	1045,0	1042,2	1041,8	1043,0

Таким образом, было выяснено, что угли различных марок имеют разную скорость роста температуры в центре загрузки, а также в целом разную способность проводить тепло. Это может быть связано как с различием в теплопроводности углей по маркам, так и с отличиями их химических свойств, а именно — выхода летучих веществ, осуществляющего конвекцию теплоты, и толщины пластического слоя, за счёт которой послойно изменяется теплопроводность.

Исследование тепловых характеристик разных углей и угольных шихт имеет большое практическое значение. Благодаря совокупности результатов теоретических и экспериментальных данных по теплопередаче возможно осуществить подбор рационального теплового режима коксовых печей и оптимизировать технологический процесс коксования угля.

#### Список литературы:

1. Агроскин А. А. Термофизика твердого топлива / А. А. Агроскин, В. Б. Глейбман. – М.: Недра, 1980. – 256 с.
2. Агроскин А. А. Физика угля. – М.: Недра, 1965. – 238 с.
3. Агроскин А. А. Теплоемкость и теплота реакций пиролиза углей Донбасса / А. А. Агроскин и др. – Кокс и химия, 1970, № 5, – С. 8–13
4. Агроскин А. А. Термофизические свойства петрографических составляющих углей / А. А. Агроскин и др. – Кокс и химия, 1977, № 5, С. 6–10
5. Исаев М. В., Султангузин И. А. Трехмерное моделирование процессов горения в печной камере коксовой батареи / М. В. Исаев, И. А. Султангузин // Кокс и химия. – 2010. – №8. – С. 34-38.

6. Кауфман, А. А., Харлампович, Г. Д. Технология коксохимического производства: учеб. пособие для ВУЗов / А. А. Кауфман, Г. Д. Харлампович. – Екатеринбург: ВУХИН – НКА. – 2004. – 287 с.
7. Грязнов Н. С. Основы теории коксования. М.: Недра. – 1985. – 258 с.
8. Скляр М. Г. Физико-химические основы спекания углей / М. Г. Скляр. – Москва: Металлургия, 1984. – 200 с.
9. Кухаркина Т. В. Химия природных энергоносителей и углеродных материалов / Т. В. Кухаркина и др. – Москва: Техника, 2009. – 204 с.
10. Заостровский А. Н. Петрографический состав как параметр, характеризующий свойства коксующихся углей // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2023. – № 3 (157). – С. 60-69.
11. Федорова Н. И. Анализ технологических и физико-химических свойств каменных углей технологической марки ГЖ // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2024. – № 4 (164). – С. 79-85.