

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ВЫХОДА ХИМИЧЕСКИХ ПРОДУКТОВ КОКСОВАНИЯ ИЗ КОНЦЕНТРАТОВ УГЛЕЙ КУЗНЕЦКОГО БАССЕЙНА ОТ ИХ ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА

Е.В. Васильева, Т.Г. Черкасова, С.П. Субботин, А.В. Неведров, А.В. Папин

*Приведены методика и результаты экспериментальных исследований выхода химических продуктов коксования и построены взаимосвязи между данными параметрами и качественными характеристиками концентратов углей Кузнецкого бассейна. Получены зависимости выхода химических продуктов коксования (кокса, каменноугольной смолы и сырого бензола) от содержания в них основных элементов органической массы угля (углерода и водорода) для исследуемых концентратов углей Кузнецкого бассейна, позволившие установить основные закономерности выхода данных продуктов.*

*Ключевые слова: уголь, коксование, химические продукты коксования, кокс, смола, бензол.*

### ВВЕДЕНИЕ

В условиях ухудшающейся сырьевой базы коксования, а также дефицита коксующихся углей усиливается роль прогнозирования выхода химических продуктов как вида научного исследования в современной коксохимической промышленности [1]. Нестабильность и разнородность сырьевой базы коксования по качеству, неравномерность поставок углей влияют как на качество кокса, так и на выход химических продуктов коксования. В этих условиях возрастает значение оценки ресурсов химических продуктов коксования в углях и шихтах [2, 3].

Все свойства углей в конечном итоге связаны с их молекулярным и надмолекулярным строением. Угли характеризуются разнообразием свойств в зависимости от их генезиса. Ископаемые угли отличаются большим разнообразием химического состава, органическая масса угля содержит от 50 до 98 % углерода, от 1,5 до 6 % водорода и  $\leq 25$  % кислорода. Кроме этих основных элементов в органической массе содержится также небольшое количество азота и серы, хотя в некоторых углях их доли могут быть и более значительными. Доля структурных составляющих зависит от степени метаморфизма угля [4].

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В рамках данной работы для определения наличия взаимосвязей между параметрами выхода химических продуктов коксования и качественными характеристиками исследуемых угольных концентратов проведены исследования угольных концентратов Кузнецкого бассейна, используемых в качестве сырьевой

базы коксохимическими производствами.

При проведении исследований, направленных на изучение качественных характеристик угольных концентратов, использовались следующие методики, ГОСТ 27314-91 «Топливо твердое минеральное. Методы определения влаги», ГОСТ 11022-95 «Топливо твердое минеральное. Методы определения зольности», ГОСТ 6382-2001 «Топливо твердое минеральное. Методы определения выхода летучих веществ», ГОСТ 9414-93 «Уголь каменный и антрацит. Методы петрографического анализа», ГОСТ 30404-2013 «Топливо твердое минеральное. Методы определения форм серы», ГОСТ 2408.1-95 «Топливо твердое. Методы определения углерода и водорода» и др.

При проведении исследований выхода химических продуктов коксования по ГОСТ 18635-73 «Угли каменные. Метод определения выхода химических продуктов коксования». Суть метода заключается в нагревании испытуемого угля или угольной смеси до 900 °С в пятисекционной печи коксования и пиролизе образующихся продуктов с последующим определением их выхода. Этот метод отличается точностью, воспроизводимостью и хорошо соотносится с технологическими показателями выхода химических продуктов коксования [5].

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На основании результатов проведенных исследований концентратов углей Кузнецкого бассейна, используемых для коксования, были построены зависимости выхода летучих веществ и содержания водорода от содержания углерода, представленные на рисунке 1.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ВЫХОДА ХИМИЧЕСКИХ ПРОДУКТОВ КОКСОВАНИЯ ИЗ КОНЦЕНТРАТОВ УГЛЕЙ КУЗНЕЦКОГО БАССЕЙНА ОТ ИХ ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА

Эти данные согласуются с результатами, приведенными исследователями углей Донецкого бассейна [6] в части зависимости выхода летучих веществ от содержания углерода.

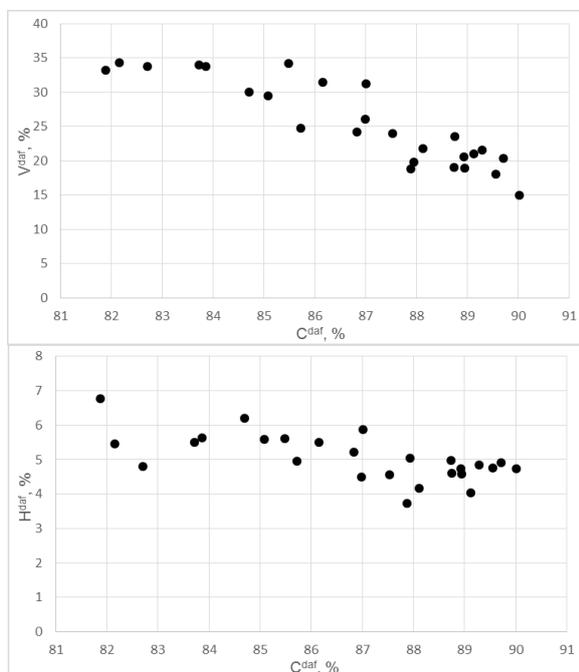


Рисунок 1 – Выход летучих веществ и содержание водорода на разных стадиях углефикации углей Кузбасса

Для рассматриваемой области содержания углерода 80–90 % в области 87 (88) % наблюдается изменение угла наклона кривой  $H^{daf} = f(C^{daf})$ , обусловленное интенсификацией реакций дегидрирования, дегидратации и поликонденсации с образованием новых двумерно упорядоченных углеродных сеток [7]. По данным [8] эта область характеризуется минимальной прочностью межмолекулярного взаимодействия, поскольку роль водородных связей уже значительно ослаблена, а  $\pi$ - $\pi$  взаимодействие в системе полисопряжения еще незначительно.

В то же время вид зависимости содержания водорода от содержания углерода отличается от данных, представленных в [6]. Уменьшение угла наклона графика для исследуемых Кузнецких углей в области 87 (88) % менее ярко выражено, чем для углей Донбасса.

Природа происходящей в процессе углефикации эволюции форм связи атомов в составе веществ органической массы углей не раскрывается данными только элементного анализа, однако очевидно, что данный процесс является одной из причин изменения выхода продуктов при коксовании углей раз-

ной степени метаморфизма. Это обусловлено изменением в процессе коксования не только массовых содержаний элементов в органической массе углей, но и начальных форм их связей, влияющих на соотношение скоростей структурно-химических превращений и соответственно на выход продуктов в виде кокса, смолы, бензола и других продуктов коксования [6].

На основании результатов исследований углей Кузнецкого бассейна были построены зависимости выхода химических продуктов коксования, представленных коксом, каменноугольной смолой и сырым бензолом, от содержания углерода и водорода исследуемых углей, представленные на рисунке 2 и рисунке 3.

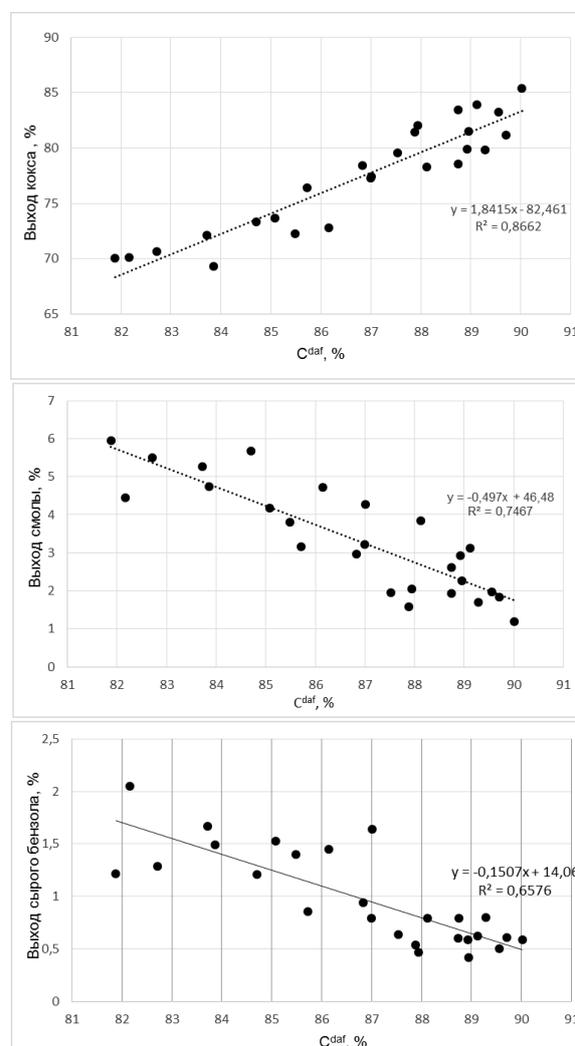


Рисунок 2 – Зависимости выходов кокса, смолы и сырого бензола от содержания углерода исследуемых углей

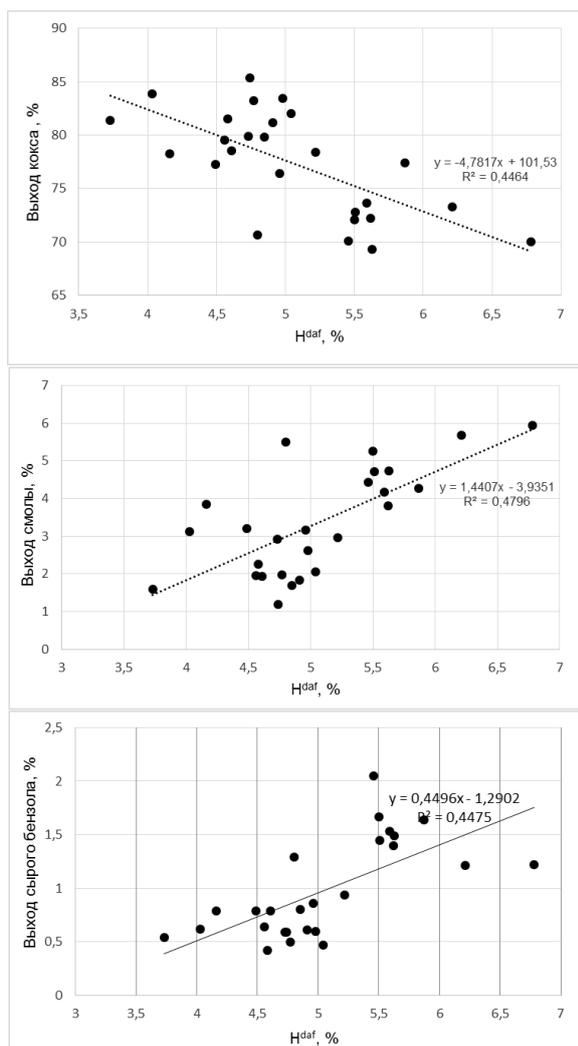


Рисунок 3 – Зависимости выходов кокса, смолы и сырого бензола от содержания углерода исследуемых углей

Анализ полученных зависимостей выходов химических продуктов коксования от элементного состава концентратов углей позволяет заключить, что с увеличением содержания углерода наблюдается уменьшение выхода летучих веществ, увеличение выхода кокса и снижение выходов каменноугольной смолы и бензола, с увеличением содержания водорода выход кокса падает, а выходы смолы и сырого бензола растут. Это согласуется с литературными данными, приведенными для мономарок углей [8].

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании проведенных исследований можно заключить, что природа углей оказывает большое влияние на состав и выход химических продуктов коксования. Поэтому

исследование углей Кузнецкого бассейна и выхода из них химических продуктов коксования является очень значимым для составления угольных шихт коксохимических производств.

Полученные экспериментальные данные и составленные на их основе зависимости являются актуальными и своевременными в условиях нестабильной и разнородной сырьевой базы коксохимических заводов. Они могут быть применены для оптимизации процесса коксования по показателям увеличения выхода основного продукта коксования – кокса. Также эти данные могут быть использованы для прогнозирования выхода других продуктов коксования по параметрам исходного сырья.

*Работа выполнена в рамках проектной части государственного задания Минобрнауки Российской Федерации №10.782.2014К.*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Головкин, М. Б. Современное состояние вопроса прогнозирования выхода кокса и основных химических продуктов коксования / М. Б. Головкин, Д. В. Мирошниченко, Ю. С. Кафтан // Кокс и химия. – 2011. – № 9. – С. 45–51.
2. Турик, И. А. Выход химических продуктов коксования / И. А. Турик, Н. Ф. Алексеева, М. С. Бабенко // Кокс и химия. – 1988. – № 6. – С. 29–30.
3. Горелов, П. Н. Прогнозирование выхода основных продуктов коксования углей и шихт по выходу летучих веществ и окисленности / П. Н. Горелов, М. С. Котелец // Кокс и химия. – 1987. – № 1. – С. 26–34.
4. Головин, Г. С. Структура и химический потенциал углей / Г. С. Головин // Химия твердого топлива. – 1994. – № 6. – С. 10–15.
5. Котелец, М. С. К стандартизации лабораторного метода определения выхода химических продуктов коксования / М. С. Котелец, В. Н. Новиков, П. Н. Горелов // Кокс и химия. – 1977. – № 3. – С. 32–34.
6. Улановский, М. Л. Оценка информативности элементного состава углей в аспекте прогноза выхода продуктов коксования / М. Л. Улановский // Кокс и химия. – 2012. – № 3. – С. 2–5.
7. Улановский, М. Л. Взаимосвязь свойств углей с изменением содержания водорода при углефикации / М. Л. Улановский // Кокс и химия. – 2011. – № 9. – С. 2–9.
8. Мирошниченко, Д. В. Прогноз выхода химических продуктов коксования по данным элементного и петрографического анализов угля / Д. В. Мирошниченко, М. Б. Головкин // Кокс и химия. – 2014. – № 3. – С. 32–43.

**Васильева Е.В.** – аспирант института химических и нефтегазовых технологий, Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева, e-mail:

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ВЫХОДА ХИМИЧЕСКИХ ПРОДУКТОВ КОКСОВАНИЯ ИЗ  
КОНЦЕНТРАТОВ УГЛЕЙ КУЗНЕЦКОГО БАСЕЙНА ОТ ИХ ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА

*kleossa@yandex.ru; тел. 8-923-486-2119.*

**Черкасова Т.Г.** – д.х.н., профессор кафедры неорганической химии института химических и нефтегазовых технологий, Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева, e-mail: *ctg.htnv@kuzstu.ru*.

**Субботин С.П.** – к.э.н., доцент кафедры химической технологии твердого топлива института химических и нефтегазовых технологий, Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева, e-mail: *sybbotin@mail.ru*.

**Неведров А.В.** – к.т.н., доцент кафедры химической технологии твердого топлива института химических и нефтегазовых технологий, Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева, e-mail: *nevedrov1978@rambler.ru*.

**Папин А.В.** – к.т.н., доцент кафедры химической технологии твердого топлива института химических и нефтегазовых технологий, Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева, e-mail: *papinandrey@rambler.ru*.