

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

«Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)»


Институт естественных и точных наук

Факультет «Химический»

Кафедра «Экология и химическая технология»


РАБОТА ПРОВЕРЕНА

Рецензент, к.х.н, доцент кафедры
материаловедения и физикохимии
материалов


23.06.17 Г.М. Рысс
2017 г.

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой, д.х.н., проф.


23 июня В.В. Авдин
2017 г.

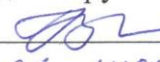
Зависимость технологических характеристик природных ископаемых
угольного ряда от степени метаморфизации

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
ЮУрГУ–18.04.01.2017.774.08.00 ПЗ ВКР

Руководитель работы, доцент
кафедры, к.х.н.


21 июня К.Р. Смолякова
2017 г.

Автор работы,
студент группы ЕТ-243


21 июня А.Г. Щербина
2017 г.

Нормоконтролер, доцент кафедры,
к.т.н.



21 июня Н.П. Нонишнева
2017 г.

Челябинск 2017

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет»
(национальный исследовательский университет)
Институт естественных и точных наук
Кафедра «Экология и химическая технология»
Факультет «Химический»
Направление 18.04.01 «Химическая технология»

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой, д.х.н., проф.

 В.В. Авдин
23 июня 2017 г.

ЗАДАНИЕ

на выпускную квалификационную работу студента

Щербина Анастасии Геннадьевны

(Ф. И.О. полностью)

Группа ЕТ-243

1 Тема работы

Зависимость технологических характеристик природных ископаемых
угольного ряда от степени метаморфизации,

(название)

утверждена приказом по университету от «17» апреля 2017 г. № 835

2 Срок сдачи студентом законченной работы 21.06.2017

3 Исходные данные к работе

Материалы научно-исследовательской работы,
учебной, производственной и предпринимательской практики.

4 Содержание расчетно-пояснительной записки (перечень подлежащих разработке вопросов)

- 1 Определение объекта и методов исследования
- 2 Постановка цели и задач исследования
- 3 Результаты и их обсуждение
- 4 Прогнозирование ископаемых ушей
- 5 Классификация ушей по технологическим маркам и фракциям
- 6 Состав и свойства ушей
- 4 Метаморфизм ушей
- 8 Влияние метаморфизма на уменьшаемость ушей при ударном воздействии
- 9 Объект и методы исследования
- 10 Результаты работы

5 Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей, плакатов, слайдов презентации)

- 1 Титульный лист
- 2 Цель и задачи работы
- 3 Объект исследования
- 4 Методы исследования
- 5 Фракционный состав природного ископаемого угольного ряда определенным способом после вибрационного воздействия
- 6 Сравнение выноса двух фракций ушей после уменьшения
- 7 Влияние фракционного состава на вынос летучих веществ
- 8 Влияние фракционного состава на мех. прочность летучего остатка
- 9 Влияние фракционного состава на зольность
- 10 Влияние фракционного состава на спекаемость
- 11 Заключение

Всего 11 листов

6 Консультанты по работе, с указанием относящихся к ним разделов работы

Раздел	Консультант	Дата, подпись	
		Задание выдал (консультант)	Задание принял (студент)
Литератур. обзор	Смошкова Ж. П.	20.04.17. <i>Смошкова</i>	20.04.17. <i>Шо</i>
Эксперимент. часть	Смошкова Ж. П.	15.05.17. <i>Смошкова</i>	15.05.17. <i>Шо</i>

7 Дата выдачи задания 20.04.2017

Руководитель _____ | *Смошкова* | Ж. П. Смошкова |
(подпись руководителя) (И.О. Ф.)

Задание принял к исполнению _____ | *Шо* | А. Т. Щеркина |
(подпись студента) (И.О. Ф.)

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Наименование этапов выпускной квалификационной работы	Срок выполнения этапов работы	Отметка о выполнении (отметка руководителя)
Литературный обзор	04.05.2017 - 14.05.2017	<i>Смошкова</i>
Гостановка эксперимента	15.05.2017 - 03.06.2017	<i>Смошкова</i>
Проведение испытаний	04.06.2017 - 18.06.2017	<i>Смошкова</i>
Обработка результатов	20.06.2017 - 21.06.2017	<i>Смошкова</i>

Заведующий кафедрой _____ | *Авдун* | В. В. Авдун |
(И.О. Ф.)

Руководитель работы _____ | *Смошкова* | Ж. П. Смошкова |
(И.О. Ф.)

Студент _____ | *Шо* | А. Т. Щеркина |
(И.О. Ф.)

АННОТАЦИЯ

Щербина А.Г. Зависимость технологических характеристик природных ископаемых угольного ряда от степени метаморфизации. – Челябинск: ЮУрГУ, ЕТ-243, 2017. – 65 с., 13 ил., 6 табл., библиогр. список – 25 наим.

Углеродсодержащие материалы, степень метаморфизма, измельчение, вибрационный измельчитель, фракционный состав, физико-химические исследования.

Объект исследования: углеродсодержащие материалы разной степени метаморфизма: бурый уголь месторождения Коркино, каменный уголь Кузбасского месторождения, каменный уголь Беловского месторождения и антрацит.

Цель работы – разработать методику анализа природных углеродсодержащих материалов в зависимости от степени метаморфизма для использования в лабораторном практикуме и для подготовки курсовых работ.

Задачи:

1) Провести анализы природных ископаемых угольного ряда (определение выхода летучих, механической прочности, содержания золы, спекаемости угля по Рогу);

2) Разработать методику измельчения углей и анализа фракционного состава после измельчения у материалов разных стадий метаморфизма;

3) Продемонстрировать характерные зависимости физико-химических свойств природных углеродсодержащих материалов в зависимости от степени метаморфизма и фракционного состава.

Разработана методика по совместному измельчению и анализу физико-химических свойств углей. Изучение углей при измельчении, классификации по фракциям и с последующим изучением физико-механических свойств позволит студентам более наглядно на практике осваивать материал и более глубоко понимать механизмы превращений углеродсодержащих материалов и делать выводы по их технической пригодности для тех или иных технологических процессов.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	8
1 ПРОИСХОЖДЕНИЕ ИСКОПАЕМЫХ УГЛЕЙ	9
2 КЛАССИФИКАЦИЯ УГЛЕЙ ПО ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ МАРКАМ И ФРАКЦИЯМ	11
2.1 Обозначение марок угля.....	11
2.2 Обозначение фракции угля	12
2.3 Российская классификация марок углей	12
3 СОСТАВ И СВОЙСТВА УГЛЕЙ	14
3.1 Химический состав углей.....	14
3.1.1 Технический анализ	14
3.1.2 Элементный анализ.....	16
3.2 Петрографический состав углей.....	17
3.3 Физические свойства угля.....	19
4 МЕТАМОРФИЗМ УГЛЕЙ	16
4.1 Закономерности изменения свойств углей.....	21
4.1.1 Изменение физических свойств углей.....	21
4.1.2 Изменение химического состава	21
4.1.3 Перестройка молекулярной структуры.....	23
4.1.4 Соотношения стадий преобразования органических веществ углей и вмещающих их осадочных пород	23
4.2 Условия углефикации	24
4.2.1 Температура.....	25
4.2.2 Давление.....	25
4.2.3 Время	26
4.3 Классификация видов метаморфизма	27
4.3.1 Региональный метаморфизм	28
4.3.2 Контактный метаморфизм.....	28
4.3.3 Термальный метаморфизм	31
4.3.4 Динамометаморфизм	32
4.3.5 Гидротермический метаморфизм	33
4.3.6 Радиотермический метаморфизм	33
4.3.7 Импактный метаморфизм.....	33

5 ВЛИЯНИЕ МЕТАМОРФИЗМА НА ИЗМЕЛЬЧАЕМОСТЬ УГЛЕЙ ПРИ УДАРНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ.....	34
5.1 Хрупкость углей.....	35
5.2 Прочность углей.....	39
5.3 Твердость углей.....	40
6 ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	40
6.1 Объект исследования.....	44
6.2 Методы исследования.....	44
6.2.1 Определение выхода летучих веществ.....	44
6.2.2 Определение механической прочности нелетучего остатка.....	44
6.2.3 Определение содержания золы твердого топлива.....	46
6.2.4 Метод определения спекаемости угля по Рогу.....	47
7 РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ.....	49
7.1 Фракционный состав природных ископаемых угольного ряда при вибрационном воздействии с амплитудой колебаний 12 мм в течение 25 минут.....	49
7.2 Сравнение выхода двух фракций разных природных углеродсодержащих материалов разной степени метаморфизма после измельчения.....	52
7.3 Выход летучих веществ.....	53
7.4 Механическая прочность нелетучего остатка исследуемых проб.....	55
7.5 Содержание золы.....	58
7.6 Спекаемость углеродсодержащих материалов по Рогу.....	60
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	64
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	65

ВВЕДЕНИЕ

Природные углеродные материалы различной степени метаморфизма (угли, антрациты, торф, графит) используются для производства различных изделий и получения продуктов переработки.

Большинство технологических процессов переработки и использования углей сопряжено с тонким измельчением. В практике диспергирования широко применяется ударное разрушение, реализуемое в шаровых мельницах и дезинтеграторах [1].

Измельчение до десятков микрон используется с целью раскрытия органо-минеральных сростков пород процессами механического и химического обогащения, повышения реакционной способности при химической переработке органического вещества, снижения энергии активации угля в процессах горения на ТЭС, выхода коксового остатка на коксохимических предприятиях [2].

Цель данной работы - разработать методику анализа природных углеродсодержащих материалов в зависимости от степени метаморфизма и измельчения для использования в лабораторном практикуме и для написания курсовых работ.

Задачи:

1) Провести анализы природных ископаемых угольного ряда (определение выхода летучих, механической прочности, содержания золы, спекаемости угля по Рогу);

2) Разработать методику измельчения углей и анализа фракционного состава в зависимости от стадий метаморфизма;

3) Продемонстрировать характерные зависимости физико-химических свойств природных углеродсодержащих материалов в зависимости от степени метаморфизма и фракционного состава;

4) Показать влияние физико-химических свойств углеродсодержащих материалов на возможность их применения в различных отраслях промышленности (ТЭЦ, коксохимия, электродное производство).

1 ПРОИСХОЖДЕНИЕ ИСКОПАЕМЫХ УГЛЕЙ

Исходным материалом для образования углей служила высокоорганизованная растительность (гумусовые угли), а также скопления микроорганизмов и планктона водоемов (сапропелитовые угли).

Высокоорганизованная растительность состоит главным образом из целлюлозы, лигнина, смол и восков. Состав целлюлозы (клетчатки) может быть выражен формулой $(C_6H_{10}O_5)_n$, где $n = 100 - 1200$. Лигнин (60 - 70% C, 4 - 7% H₂)- высокомолекулярное соединение, построенное из ядер ароматической структуры. Смолы состоят преимущественно из циклических соединений. В состав смол входят в основном сложные эфиры одноатомных спиртов и кислот. Смолы легко окисляются и полимеризуются. Воски принадлежат к алифатическим соединениям, и они близки к жирам.

В первой стадии образования угля растения превращались в торф, при этом происходило накапливание гуминов. Этот процесс называют гумификацией. Гумины — это высокомолекулярные полимеризованные или конденсированные полициклические соединения. Они являются основной частью органической массы гумусовых каменных углей и представляют собой бурые аморфные вещества, образовавшиеся из гуминовых кислот (растворимых и нерастворимых в щелочи). Бурые угли по внешним признакам разделяются на мягкие (землистые и сланцевые) и твердые (гладкие и блестящие).

Вторая стадия — превращение торфа в ископаемые угли (процесс углефикации) — протекала после покрытия залежей торфа минеральными осадками под воздействием аэробных (в присутствии кислорода) и анаэробных (при отсутствии кислорода) микроорганизмов, что вело к накоплению углерода и снижению кислорода.

Кроме гумусовых углей, наиболее распространенных в природе, существуют сапропелитовые угли, образовавшиеся из сапропеля. Сапропель — продукт разложения отмирающего планктона без доступа воздуха. Органическое вещество сапропелитовых углей состоит из циклических и полициклических карбоновых кислот и кислот жирного ряда. В основе строения этих углей — неароматическая структура. Их особенностью является повышенное количество водорода.

Свойства твердых горючих ископаемых определяются не только особенностями исходного материала и степенью метаморфизма, но также зависят

и от условий накопления и химического характера среды разложения. Так, угли «более восстановленные» лучше спекаются, чем угли «менее восстановленные» той же степени углефикации.

В качестве показателей для разграничения бурых и каменных углей принята теплота сгорания влажной беззольной массы и выход щелочного экстракта после окисления пробы перекисью водорода. Навеска угля обрабатывается H_2O_2 , затем экстрагируется 1 %-ным раствором NaOH . При выходе щелочного экстракта более 3 % угли относятся к бурым.

По совокупности свойств ископаемые угли могут быть отнесены к высокомолекулярным соединениям, включающим в состав молекулы сотни и даже тысячи атомов с многократным повторением основной структурной группировки атомов. Структура углей характеризуется конденсированными ароматическими системами, имеющими боковые алифатические цепи и кислородсодержащие группы. Результаты рентгеноструктурного анализа свидетельствуют о наличии внутри конденсированной системы сочетаний конденсированных колец, связанных между собой мостиковыми углеродными связями.

Метаморфизм — процесс существенного изменения структурного и минерального состава горных пород под воздействием температуры, давления и химической активности глубинных растворов.

Все твердые горючие ископаемые образовались в результате длительных био- и геохимических превращений остатков древних растительных и животных организмов. Состав и свойства всех твердых горючих ископаемых сильно варьируют в зависимости от химического состава исходных растений, геологического возраста месторождения, условий преобразования остатков растений в течение длительного времени. Практически невозможно получить полностью идентичные образцы твердых горючих ископаемых даже из одного месторождения.

Превращение отмерших растений в уголь происходит в результате непрерывного процесса, в котором принято выделять две основные фазы:

- 1) гумификация - превращение отмерших растений в торф;
- 2) углефикация - превращение торфа последовательно в бурый, каменный угли и антрацит.

Углефикация, в свою очередь, подразделяется, на две части:

диагенез угля - торф превращается в бурый уголь под влиянием, в основном, биохимических процессов жизнедеятельности микроорганизмов; метаморфизм - бурый уголь превращается в каменный уголь и антрацит под физическим влиянием повышенной температуры и давления горных пород.

Характер и глубина диагенеза и метаморфизма угля характеризуются степенью углефикации (низшей, средней или высшей). Независимо от других генетических факторов, определяющих состав и свойства углей, высшие и низшие растения дают начало двум основным видам угля: гумолитам и сапропелитам. Гумолиты образуются, в основном, из высших, а сапролиты - из низших растений, как продукт углефикации, соответственно, торфа и сапропеля. Сапропель - продукт изменений низших растительных и животных организмов в условиях повышенной обводненности и восстановительной среды. Смешанные угли - продукт превращения наземной и водной растительности и представителей животного мира [3].

Вывод по разделу один

Описано происхождение ископаемых углей.

2 КЛАССИФИКАЦИЯ УГЛЕЙ ПО ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ МАРКАМ И ФРАКЦИЯМ

2.1 Обозначение марок угля

Для отличия видов углей существует разделение их на марки. Классификация углей по маркам подразумевает их разделение на три больших группы, в которых марка «Б» обозначает бурый, а марка «А» – антрацит. В свою очередь, каменный уголь имеет несколько марок в зависимости от свойств того или иного его вида. А именно, каменные угли классифицируют на: длиннопламенные (Д), газовые (Г), жирные (Ж), коксовые (К), отощенно-спекающиеся (ОС), слабоспекающиеся (СС) и тощие (Т). Вышеперечисленные марки считаются основными. Но кроме них существуют также промежуточные марки, к которым относятся: ПА (полуантрациты), ДГ (длиннопламенно-газовые), КЖ (коксовые жирные) и ГЖ (газовые жирные). Всего в видах углей есть 17 марок: «Д», «ДГ», «Ж», «КЖ», «Г», «ГЖО», «ГЖ», , «К», «КО», «КСН», «КС», «ОС», «ТС», «СС», «Т» «АМ», «АО», «АС», «АК», «АКО», «АШ»»Б1», «Б2», «Б3». Кроме того, классификация

углей по маркам подразумевает выделение в рамках группы бурых углей марок на основе процентного соотношения влажности: Б1 – влажность выше 40%, Б2 – от 30 до 40%. Б3 – меньше 30%. При этом следует отметить, что коксующиеся марки, к которым относятся Г, кокс, Ж, К и ОС практически не используют в теплоэнергетике, поскольку они представляют собою дефицитное сырье, предназначенное для коксохимической промышленности. Аббревиатура ОК (ОК1, ОК2), стоящая иногда в конце марки, обозначает степень окисления.

В зависимости от степени обогащения угли делятся: на промпродукты, идущие обычно на нужды металлургии, на концентраты, которые, как правило, используются в котельных и для получения электроэнергии, на шламы, из которых можно изготавливать брикеты и продавать в розницу населению для личного использования.

2.2 Обозначение фракции угля

По маркировкам углей можно сразу определить их фракцию (размер кусков).

- П – плита (≥ 100 мм)
- К – крупный (50 – 100мм)
- О – орех (25 – 50мм)
- М – мелкий (13 – 25мм)
- С – семечка (6 – 13мм)
- Ш – штыб (0 – 6мм)
- Р – рядовой (шахтный) (0 – 200мм)
- Карьерный (0 – 300 мм)

Фракция данной марки угля определяется исходя из меньшего значения самой мелкой фракции и большего значения самой крупной фракции, указанной в названии марки угля. Так, например, аббревиатура ДКОМ обозначает длиннопламенные угли, фракция которой (К — 50–100, О — 25–50, М — 13–25) составляет 13–100 мм.

2.3 Российская классификация углей

Маркировка угля установлена с целью рационального промышленного использования угля. Угли подразделяются на марки и технологические группы; в основу такого подразделения положены параметры, характеризующие поведение

углей в процессе термического воздействия на них. Российская классификация отличается от западной.

Таблица 1 – Российская классификация марок угля

Марки угля	Буквенное обозначение марок	Выход летучих веществ V^r , %	Содержание углерода C^r , %	теплота сгорания Q^r_b , ккал/кг
Бурые	Б	41 и более	<76	6900...7500
Длиннопламенные	Д	>39	76	7500...8000
Газовые	Г	36	83	7900...8600
Жирные	Ж	30	86	8300...8700
Коксовые	К	20	88	8400...8700
Отощённо-спекающиеся	ОС	15	89	8450...8780
Тощие	Т	12	90	7300...8750
Антрациты	А	менее 8	>91	8100...8750

Кроме марок углей, указанных в таблице, в некоторых бассейнах выделяются промежуточные марки:

- Газовые жирные (ГЖ)
- Коксовые жирные (КЖ)
- Коксовые вторые (К2)
- Слабоспекающиеся (СС)

По размеру получаемых при добыче кусков каменный уголь классифицируется на:

- П – (плита) более 100 мм

- К – (крупный) 50 – 100 мм
- О – (орех) 25 – 50 мм
- М – (мелкий) 13 – 25 мм
- С – (семечка) 6 – 13 мм
- Ш – (штыб) 0 – 6 мм
- Р – (рядовой) шахтный 0 – 200 мм, карьерный 0 – 300 мм

Марки угля Д и Г могут гореть без поддува, эта их особенность позволяет использовать уголь в котельных. А уголь СС, Т или ОС может использоваться для получения электроэнергии. Марки Г и Ж, как правило, применяют в чёрной металлургии [4].

Вывод по разделу два

Приведена классификация по технологическим маркам и фракциям.

3 СОСТАВ И СВОЙСТВА УГЛЕЙ

3.1 Химический состав углей

От химического состава угля зависит его главное потребительское качество – калорийность.

Основным методом изучения качества угля при разведке и разработке угольных месторождений служит химический анализ, который подразделяется на технический и элементный.

3.1.1 Технический анализ

Главная задача – выявить содержание горючих частей угля. При производстве технического анализа определяются влага, зола, летучие вещества, коксовый остаток (спекаемость) и сера. Влага и зола составляют негорючую часть угля (балласт топлива), остальные части – горючую массу.

Влага угля бывает общая или рабочая, состоящая из внешней и внутренней. Внешняя влага при лежании угля улетучивается в окружающий воздух, после чего уголь переходит в воздушно-сухое состояние. Внутренняя же влага (гигроскопическая) – удаляется (не полностью) только при нагревании угля до температуры 105°.

Абсолютно сухое топливо совершенно не содержит влаги. Его получают путем высушивания угля при температуре более 105°.

Зола – смесь минеральных веществ, остающаяся после сгорания всех горючих частей топлива. Зола углей имеет следующие формы:

- внутренняя (конституционная), связанная с веществом угля;
- внешняя (наносная) – привнесенная в период накопления растительного материала водой или ветром;
- полученная из прослоев породы;
- зола от пород и минеральных образований, заполняющих трещины в углях;
- получаемая при засорении кусками из почвы и кровли при ведении очистных работ.

Большое количество золы резко снижает теплоту сгорания топлива, требует лишних расходов на перевозку. Наличие минеральных примесей в угле осложняет использование его для коксования.

Теплота сгорания углей – количество тепла, выделяемое при полном сгорании единицы их массы. Обычно единицей теплоты сгорания служит ккал/кг.

Для бурых углей теплота сгорания обычно не превышает 4500 ккал/кг, для коксующихся – 8600–8700 ккал/кг, для антрацитов – 8200–8500 ккал/кг.

Под летучими веществами, играющими значительную роль в качественной характеристике углей, понимают смесь газообразных и парообразных веществ, которые выделяются из угля в результате разложения органической массы при нагревании до 850° С без доступа воздуха. Содержание летучих веществ обычно определяется на безводный и беззольный уголь (горную массу). Выход летучих веществ углей закономерно уменьшается с повышением степени их химической зрелости. Показатель выхода летучих веществ принимают как один из важнейших параметров в различных классификациях каменных углей.

Коксовый остаток представляет собой твердый продукт, остающийся в тигле после удаления летучих веществ. В нем содержится часть органического вещества и примеси, образующие золу. Чтобы определить количество беззольного кокса и так называемого связанного углерода, нужно из веса коксового остатка вычесть вес золы. Коксовый остаток может иметь вид порошка, тогда уголь называется неспекающимся. Он может быть представлен также целым куском, в таком случае его называют коксовым корольком, а уголь – спекающимся. Степень спекания может быть разной. Если в корольке различаются отдельные зерна или

кусочки угля, более или менее сцементированные сплавленной массой, то королек называют слипшимся, а уголь плохо спекающимся. В том случае, когда получился сплошной однородный коксовый королек, уголь относится к спекающимся. Слабо спекающиеся угли дают очень непрочный королек, который при легком нажиме рассыпается. В зависимости от соотношения между витреновыми споровыми и фюзеновыми веществами и метаморфизма углей спекаемость изменяется в широком диапазоне.

Содержание серы в углях не зависит от их природы и метаморфизма. Сера входит в состав угля в виде различных сернистых соединений, которые всегда следует учитывать при изучении генезиса углей. Во многих случаях содержание серы является решающим при установлении пригодности углей – для различных видов практического использования.

Обычно сера бывает пиритной, сульфатной и органической. Как правило, превалирует пиритная сера. Определения сернистости входит в число показателей технического анализа углей и является обязательным для их характеристики. Важнейшим показателем сернистости углей является общее содержание серы, условно пересчитанное на сухое топливо в весовых процентах к анализируемым углям. При сгорании серы образуется сернистый газ (SO_2), который с водой образует серную кислоту, разъедающую стенки котлов. Наличие серы в коксе повышает расход руды и снижает производительность доменных печей.

3.1.2 Элементный анализ

Элементный анализ включает в себя определение количественного соотношения (в процентах) элементарного состава органического вещества углей. При этом определяется содержание углерода, водорода, кислорода и азота. Иногда выясняют содержание фосфора и органической серы, что имеет важное значения для определения пригодности углей для коксования.

Углерод (С). Определяет теплоту сгорания углей. В бурых углях количество углерода составляет в среднем 60–70%, в каменных 75–91%, а в антрацитах до 97%.

Водород (Н). Повышает теплоту сгорания углей, поскольку при сгорании водорода выделяется тепла в 4,2 раза больше, чем при сгорании углерода.

Содержание водорода снижается от бурых углей (4–6%) к антрацитам. В сапропелитах содержание водорода достигает 7–9% и даже 11%.

Кислород (O₂). Содержание кислорода убывает от бурых углей (10–30%) к антрацитам (1-2%). В торфе содержание кислорода около 40%.

Азот (N₂). Содержится в углях в количестве 1-3% и заметно уменьшается по мере повышения степени углефикации.

Сера(S) органическая, связанная с углем химически, входит в состав растений, из которых образовался уголь.

Фосфор (P) является вредной примесью в коксующихся углях, поскольку он из кокса полностью переходит в чугун и резко снижает его качество. Содержание фосфора в коксующихся углях не должно превышать 0,03%.

Следует заметить, что кислород, азот являются балластными компонентами углей, а сера при содержании более 4% и трудной обогатимости углей не дает возможность использовать угли коксующихся марок для коксования, а лишь в энергетических целях [5].

3.2 Петрографический состав углей

Преобразования при углеобразовании протекают в направлениях гелификации и фюзенизации. Гелификация - превращение лигнино-целлюлозных тканей в бесструктурное коллоидное вещество - гель. Процесс протекает в торфяниках, погруженных в застойные болота (анаэробные условия). Гуминовые кислоты - первичный материал для формирования витрена. Фюзенизация - изменение остатков в окислительной среде в отсутствие воды или при периодическом доступе воздуха. Географические, гидрохимические и микробиологические особенности среды накопления и разложения исходного растительного материала обусловили реально существующие петрогенетические типы угля.

В гумусовых углях различают четыре основные петрографические составляющие: фюзен, дюрен, кларен и витрен (рисунок 1).

Фюзен - матовый волокнистый ингредиент с шелковистым блеском, хрупкий и мягкий (пачкает пальцы), напоминает древесный уголь, имеет клеточное строение. Цвет чёрный или серо-чёрный, строение однородное. Характерно повышенное содержание углерода, пониженный выход летучих веществ, отсутствие спекающих свойств. Если стенки клеток набухшие и отверстия малы

или их нет совсем, то составляющие - ксиленофюзен, ксиловитренофюзен и витренофюзен.

Витрен - блестящий со стеклянным блеском и раковистым изломом, твердый и хрупкий ингредиент, состоящий из бесструктурного или со следами клеточной структуры гелефицированного вещества.

Кларен - блестящий ингредиент, состоящий из гелефицированной массы с небольшим количеством включений форменных элементов: спор, кутикулы, смоляных телец, различно измененных остатков растительных тканей и т. п.

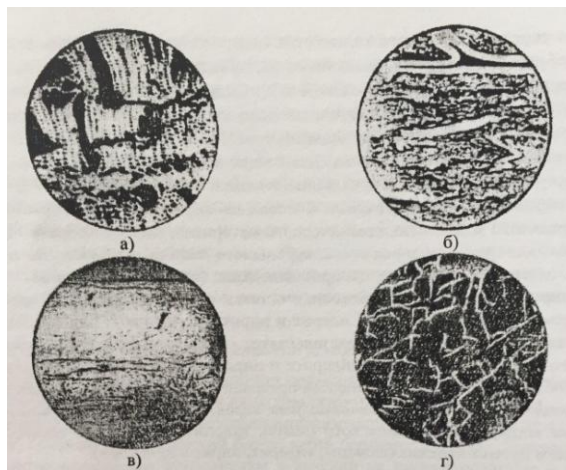


Рисунок 1 – Микроструктура фюзена (а), дюрена (б), кларена (в) и витрена (г) в отраженном свете: увеличение (а, б) - 90^{\times} , (в) - 80^{\times} , (г) - 50^{\times}

Дюрен - матовый, плотный, в отличие от кларена и витрена всегда вязкий ингредиент сероватого цвета, состоит из основной массы и форменных элементов. В зависимости от характера преобладающих микрокомпонентов выделяют споровый, кутикуловый и другие дюрены.

Различают переходные ингредиенты между клареном и дюреном: дюрено-кларены и кларено-дюрены. Основная масса может быть фюзенизированной и гелефицированной. Количество последней всегда небольшое. Большинство гумусовых углей состоит в основном из кларена, дюрена и переходных ингредиентов. Витрен и фюзен обычно присутствуют в незначительном количестве. Благодаря чередованию различных ингредиентов угли имеют полосчатое сложение, реже встречаются однородные угли, состоящие из одного ингредиента.

Существует связь между генетическими типами углей и минеральными примесями. Количество, характер и распределение последних - одна из причин

изменения физических свойств углей (цвета, блеска, плотности) [5]. Главная примесь в углях - обломочный песчано-глинистый материал (от нескольких до 50 %), затем следуют сульфиды и карбонаты железа и другие минералы до 35 наименований, иногда в золе углей накапливаются редкие элементы: V, Ge, U, Th.

Блестящие клареновые угли почти всегда характеризуются значительным содержанием сидерита, могут быть кварц, кальцит и пирит. Наличие в блестящем клареновом угле значительного количества сидерита, примеси кварца, свидетельствует об образовании угля в спокойных застойных бассейнах, в условиях анаэробной среды с большим содержанием CO_2 . Сидерит связан с основной массой угля, редко заполняет остатки клеточных полостей в растительных тканях, распределяется равномерно в виде отдельных зерен; реже образует послойные линейевидные и полосовидные скопления. Блестящие клареновые угли трещиноватые, из них распределяются включения кальцита и глинистого вещества.

Полуматовые кларено-дюреновые и матовые дюреновые угли характеризует наличие большого количества кластического материала, главным образом кварца, реже кальцита и глинистого вещества, небольшого количества пластинок и чешуек слюды. Минералы химического происхождения (кальцит и халцедон) присутствуют в значительно меньшем количестве, заполняя остатки клеточных полостей являются включениями в основной массе. Сидерит и пирит отсутствуют. Большое количество классического материала свидетельствует об образовании угля в условиях проточного водоема. Отсутствие сидерита и пирита, наличие халцедона указывают на преобладание аэробных процессов превращения растительного вещества.

Полублестящие дюрено-клареновые угли характеризуются почти равным содержанием минералов кластического (кварц, кальцит и глинистое вещество) и химического происхождения (кальцит, сидерит, пирит и халцедон) [6].

3.3 Физические свойства угля

При изучении угля обычно определяют микроскопически основные физические и механические свойства: плотность, цвет, блеск, твердость, хрупкость, излом, электропроводность, структура, текстура, отдельность.

Плотность зависит от петрографического состава углей, степени их углефикации, количества и характера минеральных примесей,

количества влаги и природы углей. Удельный вес изменяется довольно заметно при повышении степени углефикации (при одинаковой зольности).

Цвет углей обычно от бурого и темно-серого до черного. Цвет зависит от степени углефикации. Цвет черты: у бурых углей – бурая, каменных – коричневато-серая, темно-серая или черная, антрациты – черная, сапропелиты – от желтой до бурой.

Блеск различают смолистый, стеклянный, алмазный, шелковистый. Блеск усиливается по мере увеличения степени углефикации.

Твердость по шкале Мооса определяется как 1-3 и повышается с повышением степени углефикации. Наименьшая твердость у каменных углей марок Ж и К.

Хрупкость углей определяется по степени их сопротивления раздавливанию, истиранию и удару. Наиболее хрупкими являются фюзеновые, далее следуют витреновые и клареновые и наиболее стойкими являются дюреновые угли.

Излом может быть раковистым, зернистым, волокнистым, листоватым, неровным, зернистым, занозистым.

Электропроводность углей повышается с понижением выхода летучих веществ и возрастанием содержания углерода.

Структура по нормали к наслоению (напластованию) может быть листоватая, полосчатая, линзовидная, штриховатая, зернистая, землистая.

Текстура. Угли делятся на слоистые и массивные плотные. Слоистая текстура связана с неравномерностью отложения угольного вещества и изменением условий отложения, вследствие чего произошла замена в большем или меньшем количестве растительного материала минеральными отложениями.

Массивная текстура обычно характерна для плотных матовых сапропелевых углей.

Отдельность. Наблюдаемые при макроскопическом изучении углей их свойства раскалываться по определенно ориентированным плоскостям приводит к получению своеобразных по геометрической форме кусков угля, называют отдельностью. Отдельность может быть пластинчатой, призматической, кубической, глазковой, гребенчатой и пирамидальной. Различаются также реже встречающиеся отдельности конусовидные, чечевицеобразные, шаровые, осколочные (или брекчиевидные) [5].

Вывод по разделу три

Описаны характеристики состава и свойств углей.

4 МЕТАМОРФИЗМ УГЛЕЙ

4.1 Закономерности изменения свойств углей

Когда говорят об изменении свойств углей, то имеют в виду изменение органических веществ гумусовой природы. Изменение свойств углей начинается с момента их образования, то есть после перехода торфа в бурый уголь.

Под углефикацией понимается процесс изменения бурого угля до антрацита. При таком понимании углефикации общий процесс преобразования органического вещества должен заканчиваться графитизацией, а все изменения в ряду торф-графит выглядят как гумификация-углефикация-графитизация.

Использование термина метаморфизм целесообразно для обозначения определенной группы стадий изменения углей, а также вполне допустимо в его изначальном смысле – превращение (греч.) – для любых изменений в самом широком понимании этого слова. Термин метаморфизм сейчас традиционно всеми используется для угольной геологии наряду с понятиями катагенез и углефикация.

4.1.1 Изменение физических свойств углей

Уголь как сложная горная порода характеризуется большим разнообразием физических свойств. Изучая некоторые из них посредством анализа

- оптических,
- механических,
- электрических,
- магнитных,
- акустических

физических показателей, можно найти и определить переломные моменты в истории углефикации.

Изменение ряда физических свойств углей в процессе углефикации показало, что они выражаются гиперболической, параболической или синусоидообразной кривыми.

По гиперболическому закону (который еще называют линейным) с увеличением значений в ряду углефикации от бурых углей до антрацитов изменяются:

- показатели отражения,
- показатели преломления,
- кажущаяся плотность,
- коэффициент Пуассона,
- ароматичность,
- диамагнитная и истинная магнитная восприимчивость,
- спектр электронного парамагнитного резонанса.

По этому же закону, но с уменьшением значений в ряду углефикации, изменяются

- двуотражение,
- молярная теплоемкость,
- удельное сопротивление.

По параболическому закону изменяются

- действительная плотность,
- общая пористость,
- максимальная внутренняя влажность,
- теплота смачивания,
- механическая прочность,
- частота эндогенных трещин,
- коэффициенты теплопроводности и температуропроводности,
- конденсация колец,
- удельная электропроводность,
- диэлектрическая постоянная,
- парамагнитная восприимчивость,
- скорость ультразвука,
- коэффициент акустической анизотропии.

Минимум своих значений перечисленные показатели достигают на средних стадиях ряда углефикации. Некоторые другие свойства, изменяющиеся по этой же кривой, на средних стадиях характеризуются максимальными значениями.

Более сложные превращения в ряду углефикации испытывают микротвердость и микрохрупкость, изменяясь по синусоидообразной кривой с тремя максимумами и тремя минимумами своих значений в ряду углефикации.

Твердость, модуль Юнга и сдвига, сжимаемость, упругость, пластичность изменяются по синусоиде всего с двумя максимумами и минимумами значений.

4.1.2 Изменение химических свойств

Изменение элементного состава углей происходит по гиперболической кривой. Содержание всех элементов уменьшается, за исключением углерода, которого становится больше.

Скорость изменения на пути углефикации неравномерна:

- у углерода – до стадии конечных жирных углей она значительна, после жирной стадии падает,
- у водорода – наблюдается обратное соотношение скоростей, но до газовой стадии,
- содержание азота начинает активно снижаться со стадии тощих углей.

Изменяющиеся по параболической кривой теплота сгорания и влажность углей достигает соответственно максимума и минимума своих значений на стадиях К-ОС и К. Увеличение теплоты сгорания происходит относительно медленно до стадии Т, после которой резко убывает.

Уменьшение выхода летучих веществ характеризуется двумя перегибами на границе Г и Ж, ПА и А. Скорости изменений значительны между стадиями Ж и ПА, уменьшаясь до жирной и послеантрацитовой стадий.

4.1.3 Перестройка молекулярной структуры

Изменения физических свойств и химического состава углей, несомненно, являются лишь отражением молекулярной перестройки, испытываемой углем в процессе его углефикации.

Сейчас уголь принято считать полимером, но состоящим из огромного количества разных по природе структурных единиц. Общим для них является наличие ядерной части их конденсированных ароматических колец углерода и периферийной неароматической их алифатических и алициклических боковых радикалов с гетеро- и другими элементами.

В процессе молекулярного превращения углей выделено четыре этапа:

- 1) до бурогоугольной стадии,
- 2) бурогоугольная – стадия жирных углей,
- 3) жирные – полуантрациты,

4) полуантрациты – антрациты.

Первый этап – дополимерный, на втором создается полимерная структура угля, и наибольшим изменениям подвергается периферийная часть структурных единиц. На третьем этапе, начиная с углей стадии Ж и кончая стадиями ОС-Т, помимо периферийной части начинает изменяться и ядерная. Заключительные изменения в угле начинаются на четвертой стадии и определяются превращением ядерной части.

4.1.4 Соотношение стадий преобразования органических веществ углей и вмещающих их осадочных пород

Мнение о большей чувствительности органических веществ углей к изменению температур по сравнению с осадочными терригенными породами делают необходимым определение соотношения стадий преобразования углей и вмещающих их пород.

В настоящее время, представляется целесообразным принять четырехстадийное расчленение постседиментационных изменений осадочных пород.

Сравнение схем постседиментационного изменения вмещающих пород и углей выявляет ряд интересных закономерностей. На схеме соотношения стадий превращения органических веществ углей и вмещающих хорошо видно, что уже на стадии среднего катагенеза вмещающих заканчиваются катагенетические преобразования органических веществ углей. Позднему катагенезу пород соответствует ранняя подстадия метагенеза углей. И, наконец, региональному метаморфизму пород отвечает ультраметаморфизм органических веществ [7].

Это опережение развития органическим веществом изменения вмещающих его пород отражает повышенную чувствительность органических веществ к термобарическому воздействию и некоторую замедленность преобразования вмещающих углей осадочных пород.

Проведенное сопоставление позволило оценить масштаб опережения развития органических веществ. Оно показало, что:

- изменение органических веществ углей начинается при температуре, близкой к поверхностной, давлении менее 0,03...0,05 кбар, глубине погружения 200...300 м, реже 500 м;

- образование углей стадий Т-А происходит при температурах до 300⁰С, давлении до 3 кбар;
- образование метаантрацитов происходит при температуре до 450⁰С, давлении до 4 кбар;
- образование графитов происходит при температуре больше 450⁰С, давлении свыше 4 кбар.

По данным Н.Л. Добрецова и В.С. Соболева (1970):

- температура формирования зеленых сланцев находится в пределах 350/400...500/550⁰С при давлении 7...10 кбар;
- температура формирования пород эпидот-амфиболитовой фации – 500...600...650⁰С при давлении 7,5...10 кбар.

Соответственно, можно полагать, что последние температуры характеризуют условия образования графитов при региональном метаморфизме.

4.2 Условия углефикации

К главным факторам углефикации относятся температура, давление и длительность процесса, то есть время. Проявление этих факторов в недрах обеспечивается различными вариантами геологических условий.

4.2.1 Температура

Температура однозначно признается главным фактором. Ее влияние отчетливо следует из наблюдений за изменениями углей на контакте с интрузиями. Это же подтверждают и данные по искусственной углефикации, многократно проводившейся в лабораторных условиях. Наконец, имеется серьезная геологическая информация, позволяющая судить о ведущей роли температуры и ее пределах на основе сравнительного анализа распространения углей разной степени зрелости в бассейнах и месторождениях различного типа, возраста и геотермического режима.

При оценке температур образования углей при региональном метаморфизме большинство исследователей в последнее время исходит из того, что весь ряд преобразования углей, начиная от перехода бурого угля в каменные и кончая высокометаморфизованными антрацитами, укладывается в интервал температур 30/50 ... 300/350⁰С (по разным источникам).

Низкие температуры более отвечают реальным геологическим обстановкам образования разнометаморфизованных углей (углефикация органического материала в кайнозойских осадках Верхнерейнского грабена началась при температуре свыше 35°C).

Можно считать, что образование антрацитов происходит до $250\dots300^{\circ}\text{C}$, так как формирование субграфитов (графитов d_3 , d_2 , d_1 по классификации Лендис) происходит в температурных пределах $300\dots390\dots400^{\circ}\text{C}$, а полноупорядоченных графитов – свыше $390\dots400^{\circ}\text{C}$.

Таким образом, превращение углей осуществляется в диапазоне температур от 35 до $250\dots300^{\circ}\text{C}$.

4.2.2 Давление

О роли давления существуют противоположные мнения, такие как способствует, не мешает, препятствует. Сложность состоит в различном характере влияния этого фактора на изменение, во-первых, физических и структурных свойств, во-вторых, химических превращений. Так, давлению обязаны, в частности, повышение плотности углей и оптической анизотропии витринитов, переориентация (упорядочение) угольных макромолекул. В то же время давление, скорее всего, препятствует осуществлению химических реакций, выделению летучих продуктов углефикации. Согласно законам термодинамики, увеличение давления за счет выхода летучих веществ из органического материала может тормозить процессы метаморфизма в том случае, если газы не отводятся.

Рост давления при постоянной (комнатной и повышенной) температуре не увеличивает степени зрелости углей, что изменение бурых углей происходит быстрее при меньшем давлении. В результате давление, видимо, сказывается больше на самой ранней буроугольной стадии, когда значительно меняются прежде всего физические характеристики (плотность, пористость, влажность). На других стадиях этот фактор, скорее, замедляет углефикацию.

Роль давления представляется достаточно очевидной на стадии диагенеза (угли B_1) с начала перекрытия торфяника, отражаясь процессом дегидратации и слабо выраженной микрослоистостью. На стадии катагенеза (угли B_2 -Ж) результат давления ощутимо проявляется в виде неотчетливой макрослоистости в углях B_2 и четкой – начиная с углей B_3 и в более метаморфизованных разностях вплоть до раннеметагенетически преобразованных углей стадии ЖК-ОС.

Наименее ясной остается роль давления на стадии позднего метагенеза (угли Т) и метаморфизма (угли ПА-МА), особенно на стадии позднего метагенеза и начала метаморфизма (угли ПА), так как в тощих углях становится неразличимой текстура угля, четко до этого выраженная. Однако, это не означает отсутствия влияния давления в этот период истории углей [7].

4.2.3 Время

Наиболее дискуссионным является вопрос о влиянии времени, то есть продолжительности процесса метаморфизма углей. Неясная роль времени выражается в наличии двух противоположных точек зрения.

Согласной одной из них (И.И. Амосов, И.В. Еремин, С.Г. Неручев и др.), время не играет никакой роли. Геологического времени «всегда хватает»: для перехода углей из одной стадии в другую достаточно несколько сот, максимум, миллионов лет.

Другая версия исходит из важной роли времени. Ряд исследователей (М. и Р. Тайхмюллер, М.Л. Левенштейн, Н. Бостик, Н.В. Лопатин, М.В. Голицын, Н.Б. Вассоевич), сопоставляя угли разной степени метаморфизма в зависимости от возраста, пришли к общему выводу, что время может компенсироваться температурой, а температура – большей продолжительностью процесса.

Некоторые исследователи (Блесс, Мартин, Папот, Вольф) отстаивают подчиненную роль фактора времени.

По мнению Ю.Р. Мазора, надо говорить не о преимуществе температуры над временем или наоборот, а о суммарном их воздействии, то есть воздействии определенной минимальной температуры в течение эффективного минимального времени. Такой минимальной эффективной температурой является температура, перешагнувшая рубеж 35°C и определенная на каждой стадии. Эффективное время, необходимое для превращения угля из одной стадии в другую при указанных температурах – это примерно 5 млн. лет с возможным сокращением или увеличением этой цифры к средним стадиям углей каменного ряда. В течение этого времени уголь подвергается деструкции. Дальнейшее его пребывание при данной температуре, сколько долго бы оно ни продолжалось, не приведет к метаморфизму угля, и роль времени становится неэффективной и некомпенсирующей температуру. Температура в процессах регионального метаморфизма не компенсирует нехватку определенного времени. Это не

относится к контактовому метаморфизму, где порядок температур существенно отличается.

4.3 Классификация видов метаморфизма углей

Эволюционное стадийное развитие углей определяется на стадии торфогенеза до покрытия осадками биохимическими причинами, а после перекрытия и погружения - геохимическими причинами.

Биохимическая превращенность определяется конкретными палеогеографическими условиями:

- рельеф,
- гидрология,
- исходный растительный материал,
- климат.

Геохимическая превращенность в решающей степени зависит от эндогенных причин и, прежде всего, термобарических, которые определяются приуроченностью бассейнов к различным тектоническим структурам земной коры, существенно отличающимся условиями своего развития.

4.3.1 Региональный метаморфизм

В настоящее время можно утверждать, что закономерное стадийное преобразование углей вне зависимости от их возраста, в любом осадочном, в том числе угленосном бассейне или на месторождении различной тектонической природы является результатом регионального (глубинного) метаморфизма, являющегося основным, проявленного за счет глубинного тепла Земли на значительной площади (всего бассейна или месторождения) с начала погружения угленосных осадков, где по мере увеличения глубины, которая может достигать 10 км и более, ОВ испытывает возрастающее влияние тепла.

Данный вид метаморфизма действует в пределах всей территории прогиба и выражается в повышении зрелости углей со стратиграфической глубиной и в соответствующей зональности на площади, согласующейся в той или иной мере со структурой бассейна и конседиментационными изменениями мощности угленосных отложений.

Источником тепла регионального метаморфизма является тепловой поток Земли. Температура в какой-либо точке угленосного прогиба зависит от а) интенсивности идущего снизу теплового потока, б) глубины от поверхности и в) теплопроводности пород (бóльшая у песчаных, меньшая у глинистых). Обычно пользуются характеристикой геотермического градиента (ГГ). Современный геотермический градиент в угольных бассейнах неодинаков и меняется от $1^{\circ}\text{C}/100\text{м}$ (Подмосковный бассейн) до 3-4,5 (Львовско-Волынский бассейн, Зап. Камчатка) и даже до $7-8^{\circ}\text{C}/100\text{м}$ (отдельные участки Верхне-Рейнского грабена).

Палеогеотермические градиенты (ПГГ) иногда соответствуют или близки современным, но нередко значительно превышали их, особенно в областях тектоно-магматической активизации. ПГГ оценивают, исходя из аналогий с современными условиями с учетом геологических позиций палеопрогибов или расчетным путем, принимая во внимание мощность всех перекрывающих (в том числе смытых) пород и предполагаемые температуры образования углей разной степени метаморфизма.

Наиболее низкими ПГГ характеризуются бассейны древних пассивных платформ, не связанные территориально и генетически со складчатыми образованиями, где их значения вряд ли превышали $1,5^{\circ}\text{C}/100\text{м}$ и, вероятно, были близки $1,0^{\circ}\text{C}/100\text{м}$, как в Подмосковном и других схожих бассейнах (Припятском, Камском, Днепровском).

Двукратное увеличение значений ПГГ отмечается в прискладчатых бассейнах тех же древних пассивных платформ (Львовско-Волынском – $3,3^{\circ}\text{C}/100\text{м}$), соизмеримых со значениями градиентов бассейнов внескладчатых и прискладчатых типов молодых платформ (Тургайский, Челябинский и др. – $3,4^{\circ}\text{C}/100\text{м}$).

Высокие ПГГ характерны для бассейнов эпиплатформенного орогенеза (Узгенский и др. – до $4,5^{\circ}\text{C}/100\text{м}$).

Максимальных значений ПГГ достигают в бассейнах древних активизированных платформ даже внескладчатого типа (Тунгусский бассейн: $4-6^{\circ}\text{C}/100\text{м}$ для бурых углей, $6-8^{\circ}\text{C}$ – Ж, $9-10^{\circ}\text{C}$ – ПА и А. Ныне: $0,7-2,9^{\circ}\text{C}/100\text{м}$, средние ГГ – $1,2-1,3^{\circ}\text{C}/100\text{м}$).

В бассейнах собственно геосинклинальных и эпигеосинклинальных орогенных ПГГ вполне сопоставимы с градиентами платформенных бассейнов, изменяясь в пределах от 1,5-1,8 (Сахалин) до $4,4^{\circ}\text{C}/100\text{м}$ (Западно-Камчатская

угленосная площадь). Меньшими ПГГ отличаются бассейны геоантиклинальных поднятий и срединных массивов, а большими – краевых и геосинклинальных прогибов.

Этот вид метаморфизма Ю.Р. Мазор предлагает называть геотермическим, так как этот термин отражает источник тепла, вызывающий его проявление, и подчеркивает главенствующую роль температуры здесь.

По значениям ПГГ Мазор (1985) делит угольные бассейны и месторождения на три типа:

- 1) с низкими значениями – от 1,0 до 1,5⁰С/100м,
- 2) со средними – от 1,5 до 4,5⁰С/100м,
- 3) с высокими – от 4,5 до 10⁰С/100м и более.

К первому типу относятся:

- внескладчатые бассейны древних пассивных платформ;

ко второму:

- прискладчатые бассейны древних пассивных платформ,
- вне- и прискладчатые бассейны молодых платформ,
- области эпиплатформенного орогенеза,
- все геосинклинальные бассейны;

к третьему:

- древние активизированные платформы.

В крупных палеозойских каменноугольных бассейнах с мощной угленосной толщей, эталонным или близким к нему проявлением регионального метаморфизма четко фиксируются закономерные изменения всех основных свойств углей с глубиной погружения (Донецкий бассейн, Кузнецкий, Печорский и др.). Зональность метаморфизма на площади в бассейнах подобного типа хорошо согласуется со структурой палеопрогиба, коррелируется с изменением мощности угленосной толщи.

Все недоумение перед высокой степенью изменения углей при относительно малой глубине их погружения обычно бывает вызвано либо отсутствием сейчас части перекрывающих отложений, либо неправильной оценкой ПГГ рассматриваемого времени. Сами по себе глубины погружения – не всегда свидетельство значительных изменений углей, которые определяются прежде всего температурой.

Все остальные виды метаморфизма имеют локальное распространение и наложены на первоначальный фон любых вариантов регионального метаморфизма.

4.3.2 Контактный метаморфизм

Наиболее нагляден, давно известен и хорошо изучен контактный метаморфизм, отражающий изменения состава и свойств углей под воздействием тепла внедрившихся в угленосную толщу интрузий. Мазор предлагает другое название этому виду метаморфизма, а именно магматермический, так как термин четко указывает на источник тепла, которому он обязан своим проявлением.

Контактный метаморфизм проявляется локально в узких зонах контакта угольного пласта и интрузии. Его кратковременное мощное тепловое воздействие в узкой зоне вблизи контакта определяется исключительно температурой внедрившейся магмы, не считая давления расплава и его газовой среды, плюс он оказывает влияние на уже сформировавшуюся угленосную толщу и угольные пласты.

Размер контактных зон зависит, главным образом, от мощности внедрившихся тел и их ориентации относительно залегания угольных пластов. Величина зон контактных изменений в углях оценивается, по данным разных исследователей, в пределах от 50% мощности интрузивного тела и, соответственно, может достигать десятков и сотен метров, редко 1,0-1,5 км.

Наиболее сильное воздействие на угли оказывают внедрившиеся в подошву крупные силы основного состава. Воздействуя на уже измененные до какой-то стадии зрелости угли, контактный метаморфизм сопровождается рядом последовательных превращений, интенсивность которых зависит от температуры и состава магмы, исходной стадии углефикации. Исходной стадией чаще всего бывают бурые и ранние каменные угли. Ближе к контакту наблюдаются зоны ококсования и/или ографичивания. Природный кокс – матовый, прочный, с характерной столбчатой отдельностью. У самого контакта уголь обычно обожжен, видны многочисленные трещины, заполненные пеком (выделениями смол при нагреве). В ряду контактного метаморфизма фиксируются:

- повышения показателя преломления углей,
- уменьшение выхода летучих веществ, кислорода,
- потеря спекающей способности,
- увеличение зольности за счет развития метасоматических процессов.

4.3.3 Термальный метаморфизм

При рассмотрении термального метаморфизма или термометаморфизма как вида изменения углей необходимо учитывать следующие два обстоятельства.

Первое из них заключается в том, что любое воздействие мелких и крупных интрузий при непосредственном их контакте с угольным пластом или контакте через вмещающие породы следует считать проявлением магматермического метаморфизма (контактового), что вытекает из его генетической сути – воздействия тепла магмы на угленосные породы и угли. Размеры же интрузивного тела, как и характер контакта, определяют, прежде всего, количественную сторону этого процесса – величину зоны контактового ореола. Очень важно, что действия интрузий в пространстве ограничены и являются локальными.

Второе обстоятельство связано с общим повышением теплового потока, геотермического градиента вследствие тепловой активизации региона. Эта активизация определяется не теплом отдельных интрузий, а теплом магмы, поднятой в верхние горизонты осадочного чехла, то есть в промежуточные очаги на пути движения магмы от мантийных глубин к поверхности. Промежуточные магматические очаги оказывают весьма значительное влияние на общую прогретость региона и его геотермический режим и градиент. Эффект этого действия можно оценивать как проявление геотермического метаморфизма (регионального). Это тем более верно, так как не существует температурных ограничений проявлений последнего, которые определяются лишь конкретной принадлежностью каждого угольного бассейна или месторождения к древней или молодой платформе, геосинклинальной области. Таким образом, одни из проявлений, приписываемые термальному метаморфизму, возможно трактовать как явления контактового (магматермического) метаморфизма с выделением двух подвидов:

- 1) контактовый: непосредственный контакт интрузии с угольными пластами,
- 2) внеконтактовый: контакт интрузии через вмещающие породы.

Другие явления, такие как:

- повышение геотермической напряженности бассейна вследствие приближения фронта магмы к поверхности или приближение угленосной толщи к нему в процессе прогибания,
- закономерные изменения углей на площади и в разрезе, можно считать действием регионального (геотермического) метаморфизма.

4.3.4 Динамометаморфизм

Динамометаморфизм (тектотермический, дислокационный, фрикциометаморфизм) связан с воздействием на уголь тепла, возникающего в процессе складчатости, с образованием разрывных нарушений. Хотя неоднократные проверки в разных бассейнах не подтверждают этого эффекта, когда, например, пробы из одного пласта в направлении от мест наибольшей дислокации к местам спокойного залегания незначительно отличались и отвечали метаморфизму в пределах одной марки углей. В тех случаях, когда усиление тектонической напряженности сопровождается параллельным региональным увеличением степени изменения углей (например, в бассейнах краевых прогибов), всегда можно наблюдать одновременное увеличение мощности и самих угленосных толщ и перекрывающих отложений.

Но тем не менее, реально ощутимое влияние динамометаморфизма и стрессовых тектонических нагрузок нередко наблюдается и изучено в областях развития метаморфических комплексов архея и протерозоя. Поэтому отсутствие признаков динамического метаморфизма в угольных бассейнах может говорить о слишком малой интенсивности тектонических напряжений [17].

4.3.5 Гидротермический метаморфизм

Данному способу метаморфизма углей способствуют гидротермальные растворы. Сфера воздействия гидротермальных растворов ограничивается зоной контактов их с угольными пластами и вмещающими породами.

4.3.6 Радиотермический метаморфизм

Это метаморфизм углей под радиационным воздействием. Недостаточная изученность действия и масштабов проявления этого вида метаморфизма не позволяет дать сколько-нибудь удовлетворительную характеристику. Известные данные по бассейнам и лабораторные исследования позволяют лишь говорить об его узком, локальном проявлении и малом практическом интересе.

4.3.7 Импактный метаморфизм

Экзотическим, но реально существующим, является наличие импактного метаморфизма углей, возникающего в местах падения крупных метеоритов и астероидов на Землю в пределах развития угленосных отложений. Он интересен тем, что происходит в буквальном смысле (а не геологическом) моментально.

Таким образом, региональный метаморфизм создает основную картину изменения и является фоновым метаморфизмом, первичным. Все остальные виды метаморфизма могут быть отнесены к наложенным, вторичным. Это касается времени проявления или начала проявления действия метаморфизма. По масштабу воздействия региональный метаморфизм является площадным, контактовый и другие – локальными [13].

Таблица 2 – Условия проявления различных видов метаморфизма углей

Виды метаморфизма	Температура, °С	Давление, атм	Длительность	Скорость
Региональный	50...300...350	400...2500...3000	Млн, 10ки млн лет	Весьма низкая
Термальный	80...100...400-500	500...800...900	Сотни тысяч, 10ки млн лет	Весьма низкая - значительная
Контактовый	200...750...1000	Интузивное 1520...2030	первые сутки, тысячи, первые 10ки тысяч лет	Высокая

Вывод по разделу четыре

Рассмотрены превращения углей в результате метаморфизма.

5 ВЛИЯНИЕ МЕТАМОРФИЗМА НА ИЗМЕЛЬЧАЕМОСТЬ УГЛЕЙ ПРИ УДАРНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

Преимущества дезинтеграторного, чисто ударного измельчения перед другими видами разрушения состоит в меньшем разупорядочении молекулярной структуры вещества угля, что позволяет более эффективно разделять органоминеральные компоненты методами гравитационного, центробежного и флотационного обогащения. Ударные воздействия обычно направлены перпендикулярно угольным слоям и приводят к аморфизации поверхностных слоев частиц, в то время как посредством сдвига и трения, проявляющихся в центробежных мельницах, имеет место более глубокое разрушение и деструкция угольных частиц.

Как показали исследования, степень дисперсности и механоактивированности углей разных марок после тонкого измельчения в одном и том же аппарате имеют существенные различия, что объясняется рядом генетических и технологических особенностей углей. В данной работе изучалась измельчаемость углей разных стадий метаморфизма, факторами изменения которых является давление и температура. Объектами исследований служили угли трех стадий Кузбасса – Д, К и Т (длиннопламенный, коксовый и тощий).

При диспергировании использовался дезинтегратор Таллиннского производства IA35 производительностью 10 кг/ч при $N = 2.35$ кВт и микромельница ударного действия «Culatti» производства фирмы Kleinfelg (Германия). Для экспериментов были выбраны два режима измельчения в дезинтеграторе со скоростью удара 100 м/сек и 38 м/сек и два режима диспергирования в аппарате Culatti – 40 м/сек и 20 м/сек.

Измельчению подвергались угли крупностью 2 +0 мм, после чего продукты анализировались по выходу фракций $-0.5 +0.25$ мм, $-0.25 +0.1$ мм и -0.02 мм. Зольность углей составляла 9–10 %, такие сравнительно малозольные угли были выбраны для сравнения измельчаемости витринизированной части угля. Сравнивались выходы фракций $-0.25 +0.02$ мм и -0.02 мм. Первая фракция характеризуется наибольшим раскрытием сростков и является наиболее оптимальной для обогатительных процессов. Тонкий продукт -0.02 мм в большей степени отвечает задачам химической переработки и использовалась в энергетике (пылевидное сгорание).

Как следует из рисунка 2, наиболее благоприятным режимом измельчения с целью последующего обогащения угля (фракция $-0.25 +0.02$ мм) для всех выбранных углей является дезинтеграторное разрушение при 38 м/сек. Наибольшим выходом данной фракции характеризуется уголь стадии К, а наименьшим – пробы угля Д, что объясняется большей вязкостью витринита на начальных стадиях метаморфизма. Вполне удовлетворительные результаты получены и при использовании микромельницы при 40 м/сек. Однако в данных экспериментах образуется значительное количество шламов и задачей данных исследований явилось повышение гранулометрической селективности измельчения.

Для целей тонкого пылевидного помола наиболее эффективным оказалось дезинтеграторное измельчение при 100 м/сек, наибольший выход фракции менее 20 мкм получен для угля стадии Т – 81.6%, в то время как данный показатель для угля Д и К имеет соответственно значения 21.8% и 47%. Таким образом, с повышением стадии метаморфизма измельчаемость угля резко возрастает, причем это закономерность относится к экспериментам, выполненным с использованием и других измельчителей и режимов. При активационном измельчении углей для их использования в энергетике (ТЭС) наибольшую интенсификацию горения за счет сверхтонкого измельчения следует ожидать при использовании углей высоких стадий метаморфизма (СС, Т).

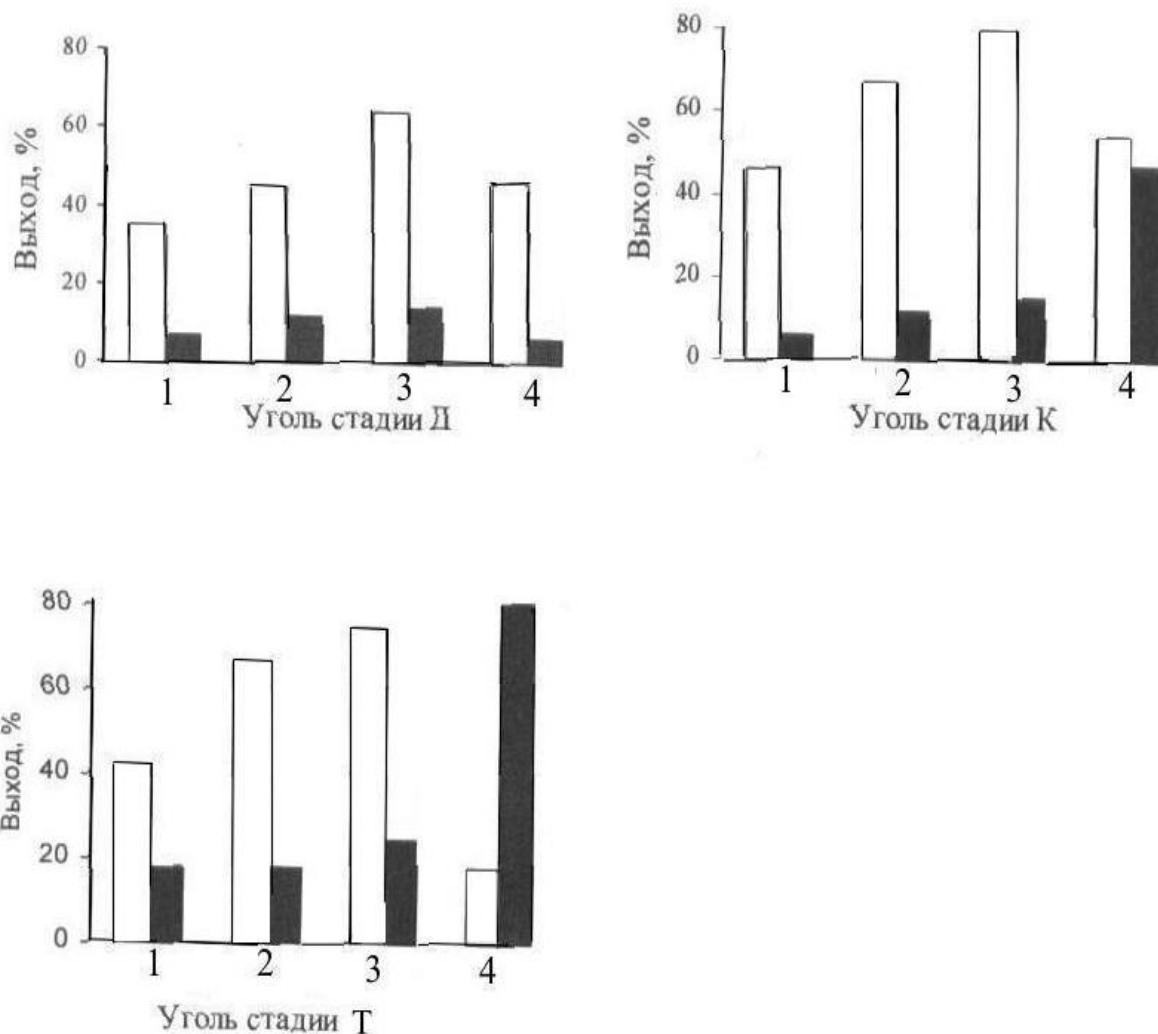


Рисунок 2 – Измельчаемость углей разных стадий метаморфизма. 1 – измельчение в микромельнице Culatti при $V = 20$ м/сек, 2 – то же при 40 м/сек, 3 – измельчение в дезинтеграторе при $V = 38$ м/сек, то же при $V = 100$ м/сек. – фракция $-0,25 + 0,02$ мм, – фракция $-0,02$ мм

Другое важное обстоятельство, вытекающее из выполненных экспериментов, состоит в возможности дифференциации по зольности фракций - 20 мкм, полученных в различных режимах диспергирования, в зависимости от стадии метаморфизма угля (рисунок 3).

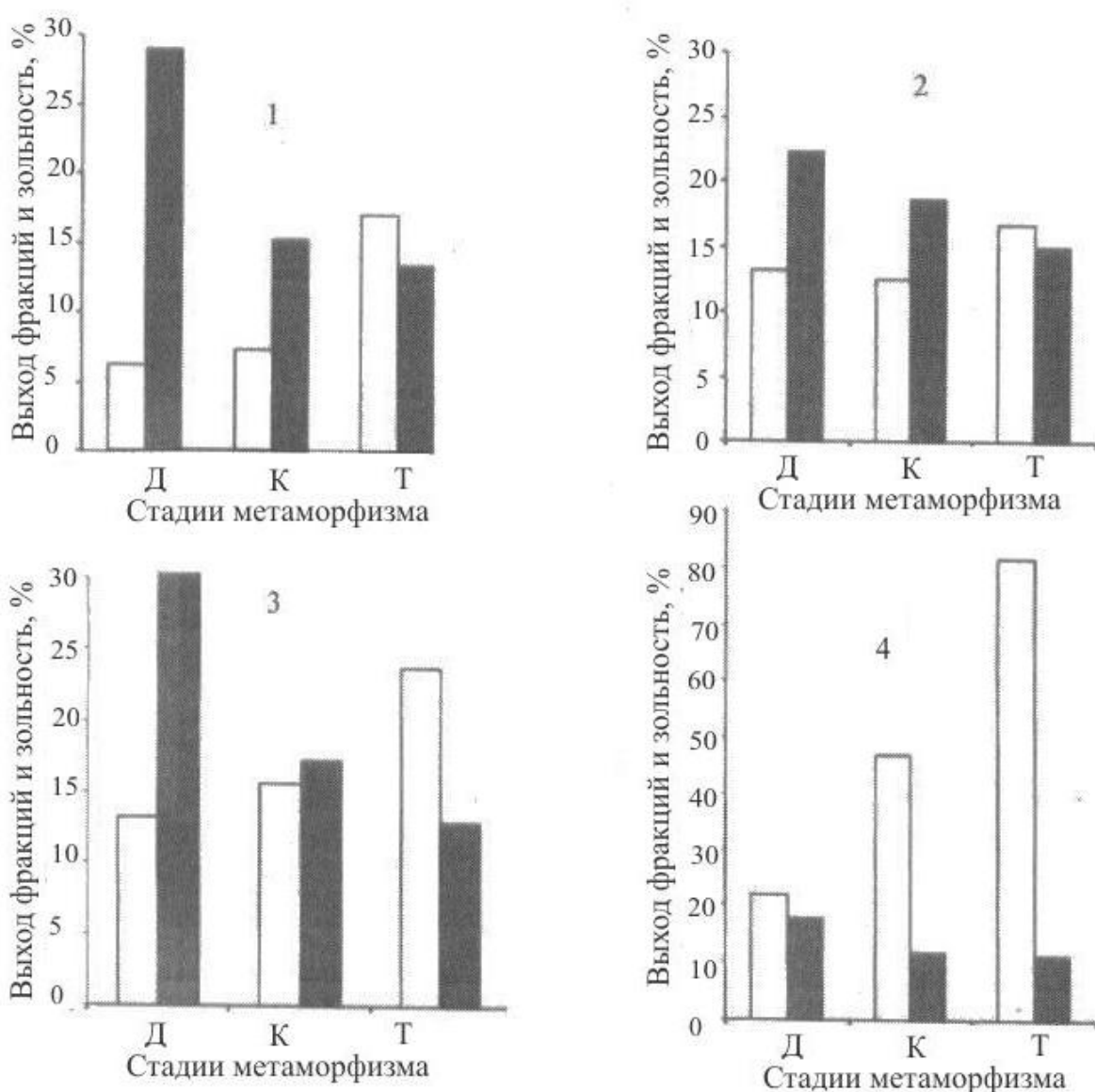


Рисунок 3 – Выход и зольность () фракций крупностью – 20 мкм в зависимости от вида и энергонапряженности измельчителей: 1, 2 – Culatti – V – 20 м/сек и 40 м/сек; 3, 4 – дезинтегратор – и V – 38 м/сек и 100 м/сек

Наибольшей зольностью отличается тонкая фракция угля стадии Д, полученная в режиме измельчения микромельницы при $V = 20$ м/сек и дезинтеграторном диспергировании при $V = 38$ м/сек. Значения A_d соответственно составляют 29.0 % и 33.5 %. Повышение скорости ударов указанных измельчителей до 40 м/сек и 100 м/сек соответственно значительно

снижает зольность данной фракции до 22.8 % и 17.6 %, вероятно, ввиду агрегации (втирания) минеральных частиц с угольным веществом.

Данное положение открывает возможности обогащения угля Д на основе удаления продукта – 20 мкм после энергонапряженного измельчения. Для углей стадии К и Т подобная зависимость также сохраняется, но в меньшей мере. Однако эффективность ударного измельчения как метода селективного измельчения угля в той или иной мере проявляется для всех исследованных в работе углей.

1 Экспериментами по высокоэнергонапряженному измельчению углей показана закономерность их измельчаемости в зависимости от стадии метаморфизма. С повышением этого показателя диспергируемость угля возрастает. Данное положение имеет место при всех исследованных в работе режимах и видах измельчителей.

Данную зависимость важно учитывать при тонком измельчении углей перед их обогащением, химической переработкой и использованием в энергетике.

2 Установлено влияние энергонапряженности измельчения и стадии метаморфизма угля на величину зольности наиболее тонких фракций (-20 мкм).

Наибольший переход минеральных включений, определяющих зольность, в тонкую угольную фракцию характерен для угля стадии Д, т.е. угли начальных стадий метаморфизма должны в большей мере подвергаться деминерализации в результате ударных воздействий.

Для стадий К и Т зольность тонкой фракции несколько ниже при тех же режимах механических воздействий, вероятно, ввиду более высокой крупности и прочности органо-минеральных сростков.

Интенсификация перехода минеральных образований в тончайшие фракции при ударном измельчении может явиться эффективным методом деминерализации и обогащения углей на основе удаления шламовой фракции путем высокоскоростного грохочения или других методов [8, 19].

5.1 Хрупкость углей

Хрупкость углей — свойство разрушаться при механическом воздействии на них без применения специальных устройств для дробления и наложения внешних усилий. Наиболее полно это свойство проявляется во время транспортировки при соударении кусков, перемещении по желобам. Для определения хрупкости уголь

испытывают в барабане без дробящих элементов по методике ГОСТ 15490. Хрупкость в большей мере зависит от петрографического состава. Четко выраженной зависимости хрупкости от стадии метаморфизма не наблюдается [6].

Разрушение кусков углей в значительной мере определяется не только хрупкостью угольного вещества, но и наличием трещин. В качестве метода обобщенной характеристики сопротивления углей дроблению может служить ситовый анализ.

5.2 Прочность углей

Механическая прочность углей зависит от состава органической массы и минеральных примесей. Она наиболее высока у длиннопламенных и газовых углей, резко снижается у жирных, коксовых и некоторых тощих углей. Антрацит относится преимущественно к механически прочным и очень прочным углям. Полуантрацит занимает промежуточное положение между тощими углями и антрацитом. Слабой механической прочностью обладают землистые бурые угли. Механическую прочность углей определяют по ГОСТ 7714-75.

Сущность метода определения механической прочности заключается в разрушении пробы угля крупностью от 13 до 100 мм во вращающемся закрытом барабане и затем определении массы кусков крупностью более нижнего предела испытываемого класса. Выход кусков крупностью более нижнего предела для соответствующих классов грохоченого угля и крупностью более 13X13 мм для рядовых углей, выраженный в процентах от массы загруженного в барабан угля, принимают за показатель механической прочности (индекс механической прочности) угля.

5.3 Твердость углей

Твердость углей по шкале Мооса определяется от 2 до 5. С ростом степени метаморфизма твердость возрастает. Микротвердость (ГОСТ 21206-75) определяется по отпечатку вдавленный в уголь под постоянной нагрузкой алмазной пирамидки. Микротвердость возрастает у углей с высокой стадией метаморфизма.

В отличие от прочности твердость зависит не столько от связей между молекулами, сколько от концентрации атомов в молекуле. Твердость углей

принято определять по шкале Мооса, которой характеризуется твердость различных минералов. [9]

Износ зубьев дробилок зависит от твердости угля и других причин; срок службы их колеблется в пределах от 1000...1509 час. Восстанавливаются зубья дробилок чаще всего наваркой твердого сплава, например сталинита.

Большое практическое значение имеет определение прочности и твердости углей. Прочность дисперсных материалов определяется связью между элементами их дисперсной структуры. Это необходимо иметь в виду для понимания результатов ее определения. Так, прочность крупных кусков кокса, определяемая по измельчаемости в барабане или при сбрасывании с определенной высоты на чугунную плиту, зависит главным образом от трещиноватости кусков, прочность кусков небольшой величины - от массивности пенистой структуры кокса, а прочность мелких частиц - от прочности самого однородного материала угля.

Из числа испытанных образцов склерометрическая твердость антрацита примерно в шесть раз более, чем твердость мягких углей, в то время как пирит тверже их примерно в двадцать раз. Подобные же результаты для антрацита и кеннельского угля были найдены О. Нейлем, который произвел идентичные испытания 5 британских углей. Странной особенностью результатов О. Нейля было то обстоятельство, что дюрен-заведомо твердый компонент угля-был найден им лишь немного более твердым, чем витрен и кеннель. Эти числа твердости по Мэттесу представляют собой выраженную в процентах амплитуду качаний небольшого свободно подвешенного молоточка с круглым обушком, получающихся после удара им по испытываемому образцу.

В углях различают два вида твердости: минералогическую и абразивную. Первая определяется при царапании исследуемого образца различными по твердости минералами по шкале Мооса. Установлено, что твердость углей колеблется от 1 до 3 и зависит от петрографического состава и степени обуглероживания. Абразивную твердость находят по степени сопротивления, которое угли оказывают при шлифовании.

Закономерное изменение прочности и твердости углей и полученных при их нагревании твердых продуктов имеет большое теоретическое значение, так как эти параметры характеризуют важные свойства, связанные с особенностями их природы, петрографического состава и степени метаморфизма. Кроме того,

механические свойства отражают, в некоторой степени, и различие молекулярного строения отдельных видов твердого топлива. Исследование прочности и твердости углей дает также возможность определить их техническую пригодность для тех или иных технологических процессов [9].

По вопросу о твердости углей как о свойстве, характеризуемом с точки зрения их хрупкости и дробимости, имеется обширная литература. Что же касается твердости как внутреннего свойства углей, то по этому вопросу мало что известно. Это объясняется тем, что твердость угля как его внутреннее свойство является показателем, имеющим ограниченное практическое значение сравнительно с экономическим значением способности углей к крошению и размалыванию.

Твердость углей оценивается способностью противодействовать проникновению в них другого, более твердого, тела. Твердость угля обычно определяют с помощью устройств Роквелла, Бринелля или Викерса (алмазная пирамидка), которыми измеряют сопротивление угля раздавливанию при статических нагрузках. Твердость также может быть определена методом Шора, при котором потеря кинетической энергии падающего металлического предмета, поглощенной при столкновении с испытуемым образцом, определяется по высоте отскока.

Твердость каменных углей по шкале Мооса составляет 2—5. Она изменяется с изменением стадии их метаморфизма: достигает максимума при содержании углерода 84 %, затем падает до минимума при содержании углерода 90 % и с дальнейшим ростом содержания углерода снова увеличивается.

Зависимость твердости углей от степени метаморфизма представлена на рисунке. При переходе от лигнита к бурым углям и неспекающимся каменным углям значение твердости нарастает и достигает максимума при содержании углерода около 82 %. По мере дальнейшего увеличения метаморфизма твердость падает до минимума при содержании углерода около 90 %. Далее график твердости резко возрастает при переходе к антрацитам.

Высокой степени метаморфизма соответствует большое количество поперечных связей между ядрами углерода, образующих каркас угольного вещества. Поэтому связь между макромолекулами жесткая, что и объясняет высокую прочность угля.

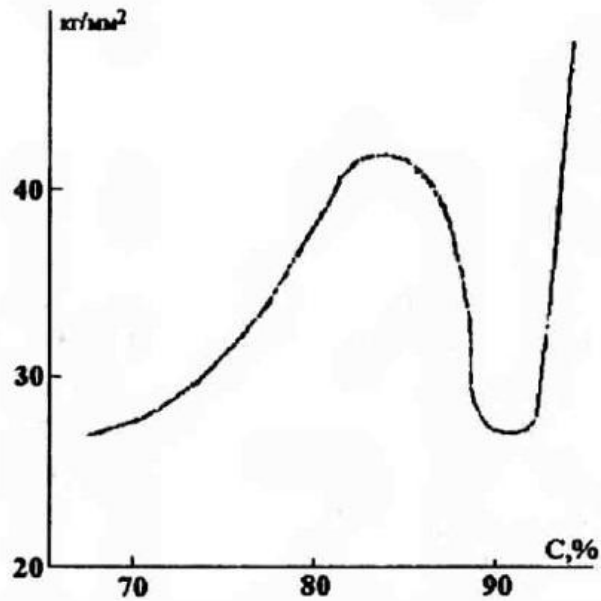


Рисунок 4 – Зависимость твердости углей от степени метаморфизма

Меньшая прочность углей средней степени метаморфизма объясняется сокращением длины боковых цепей макромолекул, а также присутствием кислорода, в виде двуокиси углерода и воды. Последнее ослабляет структуру за счет уменьшения химической связи через кислородные мостики.

Вывод по разделу пять

Рассмотрено влияние метаморфизма на измельчаемость углей при ударных воздействиях. Проанализировав литературу разделов 1-5, определили цель и задачи исследования.

Цель данной работы - разработать методику анализа природных углеродсодержащих материалов в зависимости от степени метаморфизма и измельчения для использования в лабораторном практикуме и для написания курсовых работ.

Задачи:

- 1) Провести анализы природных ископаемых угольного ряда (определение выхода летучих, механической прочности, содержания золы, спекаемости угля по Рогу);
- 2) Разработать методику измельчения углей и анализа фракционного состава в зависимости от стадий метаморфизма;

3) Продемонстрировать характерные зависимости физико-химических свойств природных углеродсодержащих материалов в зависимости от степени метаморфизма и фракционного состава;

4) Показать влияние физико-химических свойств углеродсодержащих материалов на возможность их применения в различных отраслях промышленности (ТЭЦ, коксохимия, электродное производство).

6 ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

6.1 Объект исследования

В работе использовали углеродсодержащие материалы разной степени метаморфизма. Объектами исследований служили: бурый уголь месторождения Коркино, каменный уголь Кузбасского месторождения, каменный уголь Беловского месторождения и антрацит. Измельчению подвергались исследуемые материалы фракции [-2; +0,5], после чего продукты анализировались по выходу фракций [-0,5; +0,25], [-0,25; +0,16], [-0,16; +0,071], [-0,071; 0]. При измельчении использовался вибрационный измельчитель германского производства VEB Metalverarbeitung 4600 Wittenberg ВТ производительностью 220 V. Для эксперимента был выбран режим измельчения с амплитудой колебаний 12 мм в течение 25 минут.

6.2 Методы исследования

6.2.1 Определение выхода летучих веществ

Под выходом летучих веществ понимают массу органической части угля, выделившуюся в виде летучих продуктов разложения при нагревании угля без доступа воздуха в предусмотренных стандартами условиях. Значимость показателя выхода летучих веществ неодинакова для различных видов топлива. Если для торфа и горючих карбонатных сланцев этот показатель имеет второстепенное значение, то для угля - определяющее при оценке рациональных путей использования. Для углей имеются два отчетливо различных периода газовой выделения. Первый, сопровождающийся выделением CO_2 , CO и паров воды, заканчивается при температуре выше 300°C . Начальная температура второго периода зависит от степени метаморфизма нагреваемого угля и составляет для

газового угля примерно 350°C , а для угля марок ОС - выше 400°C . Вторым периодом характеризуется бурным газо- и смоловыделением.

Выход летучих веществ - классификационный показатель, учитывающий степень метаморфизма углей. Вместе с тем это и технологическая характеристика угля, учитываемая при использовании его для получения металлургического кокса, т.к. с выходом летучих веществ связаны усадка полукокса, образование трещин и другие явления, оказывающие влияние на прочность кокса.

Термическая неустойчивость углей, характеризуемая, в частности, выходом летучих веществ определяет технологическую ценность твердых горючих ископаемых и выбор метода их переработки (полукоксование, коксование, деструктивная гидрогенизация, термопластификация и т.п.)

Приборы и материалы:

- 1 Муфельная печь с электрообогревом
- 2 Тигли фарфоровые с крышкой – 2 шт
- 3 Проба массой $(1 \pm 0,01)$ г
- 4 Весы с погрешностью взвешивания не более 0,2 мг
- 5 Секундомер
- 6 Эксикатор по ГОСТ 25336 с осушительным веществом.

Ход работы:

1 Основным методом определения выхода летучих веществ является весовой метод по ГОСТ 6382-2001.

Сущность метода заключается в нагревании навески топлива в фарфоровом или кварцевом тигле, закрытом крышкой, при температуре 550°C в течении 10 мин и определении выхода летучих веществ по разности между общей потерей массы топлива и потерей за счет испарения влаги.

2 Аналитическую пробу топлива перемешивают в открытой банке шпателем или ложечкой по возможности на полную глубину и на разной глубине из 2-3 мест берут в предварительно взвешенные тигли две навески топлива по $1 \pm 0,01$ г. Взвешивание производят с точностью до 0,0002г.

3 Тигли с навесками угля, закрытые крышками, устанавливают на подставке и помещают в печь, нагретую до температуры 550°C . Тигли выдерживают в закрытой печи в течении 10 мин. Температура, понизившаяся при установке тиглей в печь, должна снова достичь 550°C не более чем за 3 мин.

4 По истечении 10 мин тигли вынимают из печи, охлаждают сначала на

воздухе в течении 5мин, а затем в эксикаторе до комнатной температуры , взвешивают и освобождают от нелетучего остатка.

5 Если в результате испытания каменного угля с выходом летучих веществ более 20% получен порошкообразный или слипшийся нелетучий остаток, то испытание повторяют с брикетированными навесками этого угля и выход летучих веществ определяют по результатам второго испытания.

6 Нелетучий остаток, полученный в тигле после определения выхода летучих веществ, в зависимости от внешнего вида, характеризуют по следующей классификации:

Порошкообразный;

Слипшийся - при легком нажиме пальцев рассыпается в порошок;

Слабоспекшийся – при нажиме раскалывается на отдельные кусочки;

Спекшийся, не сплавленный – для раскалывания на отдельные кусочки нужно приложить усилие;

Сплавленный, не вспученный - плоская лепешка с серебристо металлическим блеском поверхности;

Сплавленный, вспученный – вспученный нелетучий остаток с серебристо металлическим блеском поверхности высотой менее 15мм;

Сплавленный, сильно вспученный – вспученный нелетучий остаток с серебристо металлическим блеском поверхности высотой более 15мм.

6.2.2 Определение механической прочности нелетучего остатка

Приборы и материалы:

1 Приспособление для механической прочности нелетучего остатка углей, представляющее собой металлическую трубу и грузик на крепкой нити

2 Сито с размером ячеек 1 мм

3 Весы аналитические с точностью 0,01 г.

Ход работы:

1 Нелетучий остаток («королек»), полученный при определении летучих веществ угля, предварительно взвесив, поместить в металлическую трубу.

2 Поднять груз на уровень края трубки и опустить на «королек». Бросить таким образом 3 раза. Раздробленный «королек» поместить на сито и рассеять. Собрать «надрешетный» продукт и взвесить его с точностью до 0,01 г.

6.2.3 Определение содержания золы твердого топлива

Приборы и материалы:

- 1 Весы с погрешностью взвешивания не более 0,1 мг;
- 2 Муфельная печь любого типа с максимальной температурой нагревания 1000 °С;
- 3 Фарфоровые лодочки или тигли № 3 и № 4;
- 4 Щипцы тигельные;
- 5 Эксикатор по ГОСТ 25336.

Ход работы:

1 Аналитическую пробу перемешиваем в открытой банке шпателем и на разной глубину из двух-трех мест в предварительно взвешенные лодочки или тигли берут навеску топлива по $1 \pm 0,1$ г. и распределяют равномерным слоем по дну.

2 Лодочки или тигли с навесками топлива ставят под муфеля, нагретого в течение 30 мин. до 500°С. Закрывают дверцу и постепенно, в течение 30-60 мин. повышают температуру до 800-830°С.

3 В течение 1,5 часов прокаливают в закрытом муфеле образовавшийся зольный остаток. После чего лодочки с зольным остатком вынимают из муфеля, охлаждают на воздухе до комнатной температуры и взвешивают.

4 После этого производят прокаливание лодочек с зольным остатком в течение 30 мин. и определяют изменение массы.

6.2.4 Метод определения спекаемости угля по Рогу

Индекс Рога - это показатель спекаемости угля, определенный по прочности нелетучего остатка, полученного при быстром нагревании смеси угля с отощающей добавкой. Этот показатель характеризует спекающую способность угля. Его используют как параметр спекаемости в международной классификации, а также в классификации углей некоторых бассейнов России.

Для проведения испытаний измельчают до крупности менее 0,2 мм, не допуская переизмельчения. Отощающей добавкой служит кварцевый песок фракции - 0,4 + 0,315 мм.

Цель работы: Определить спекающую способность угля.

Приборы и оборудование:

- 1 Уголь (аналитическая проба)

- 2 Песок кварцевый фракции – 0,4 + 0,315
- 3 Тигли фарфоровые прокаленные
- 4 Весы чашечные электронные
- 5 Сито с отверстиями 1 мм
- 6 Печь муфельная
- 7 Барабан стальной
- 8 Секундомер

Ход работы:

1 Измельчаем представленный образец угля до крупности менее 0,2 мм. Отощающей добавкой служит кварцевый песок фракции –0,4 +0,315 мм.

2 В прокаленный до постоянного веса тигель поместить навеску 0,9 г пробы и 0, 1 г песка, хорошо перемешать содержимое проволочной мешалкой, тигель закрыть крышечкой и поместить в муфельную печь на 10 минут, температура 850 °С. После закрытия печи температура должна вновь достичь заданного значения не более чем за 5 минут.

3 После 10 минут выдержки тигли вынуть из муфеля, охладить до комнатной температуры 15 минут и затем поместить в эксикатор на 15 минут.

4 После охлаждения тигли с нелетучим остатком осторожно перенести обожженный образец на сито с круглыми отверстиями. Крупные кусочки и надрешетный продукт перенести обратно в тигель и вновь взвесить.

5 Содержимое тигля поместить в стальной барабан с двумя ребрами, приваренными к внутренней боковой стенке. Барабаны закрыть крышками и включить мотор на 3 мин.

6 Просеять содержимое барабана на сите, надрешетный продукт перенести в тигель и взвесить.

7 Провести обработку в барабане еще два раза.

8 Результаты записать в таблицу и вычислить показатель спекаемости угля по формуле.

Вывод по разделу шесть

Для проведения работы выбрали в качестве объекта исследований бурый уголь месторождения Коркино, каменный уголь месторождения Кузбасс, каменный уголь Беловского месторождения и антрацит.

7 РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

7.1 Фракционный состав природных ископаемых угольного ряда при вибрационном воздействии с амплитудой колебаний 12 мм в течение 25 минут

Подвергнув измельчению в вибрационном измельчителе, углеродсодержащие материалы крупностью [-2;+0,5] на более мелкие фракции в течение определенного времени (25 минут) и с амплитудой колебаний 12 мм мы определили, что самый хрупкий уголь – бурый, он легче всего поддается измельчению. С повышением стадии метаморфизма измельчаемость углеродсодержащих материалов понижается, что характерно для антрацита, такой вид материала сложнее всего поддается измельчению.

Вывод об изменении измельчаемости позволяет сделать диаграммы, приведенные на рисунках 5-8. Видно, что исходной фракции [-2;+0,5] после ударного воздействия остается больше всего у антрацита (более 30%), тогда как у каменных углей около 3-4%, наименьшее количество – 0,09% у бурого угля. Также хорошо видно, что фракции [-0,5;+0,25] примерно в два раза больше у антрацита, по сравнению с каменным Кузбасским, Беловским и бурым углем. Самой мелкой фракции после измельчения больше всего у бурого угля (35,27%), у каменного Беловского и Кузбасского соответственно 34,28% и 32,90%, у антрацита количество данной фракции наименьшее – 10,53%.

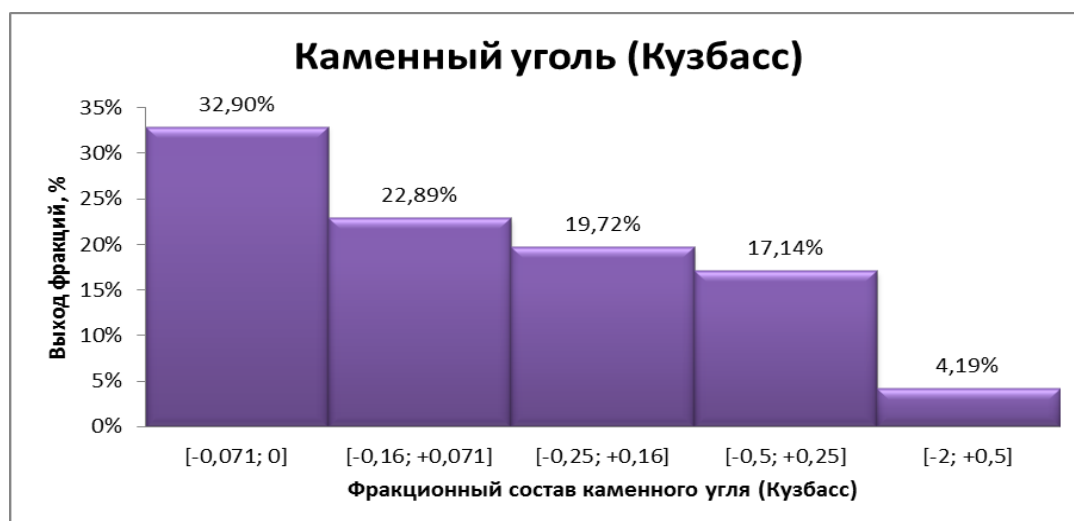


Рисунок 5 – Диаграмма зависимости фракционного состава каменного угля Кузбасского месторождения от выхода фракций, %

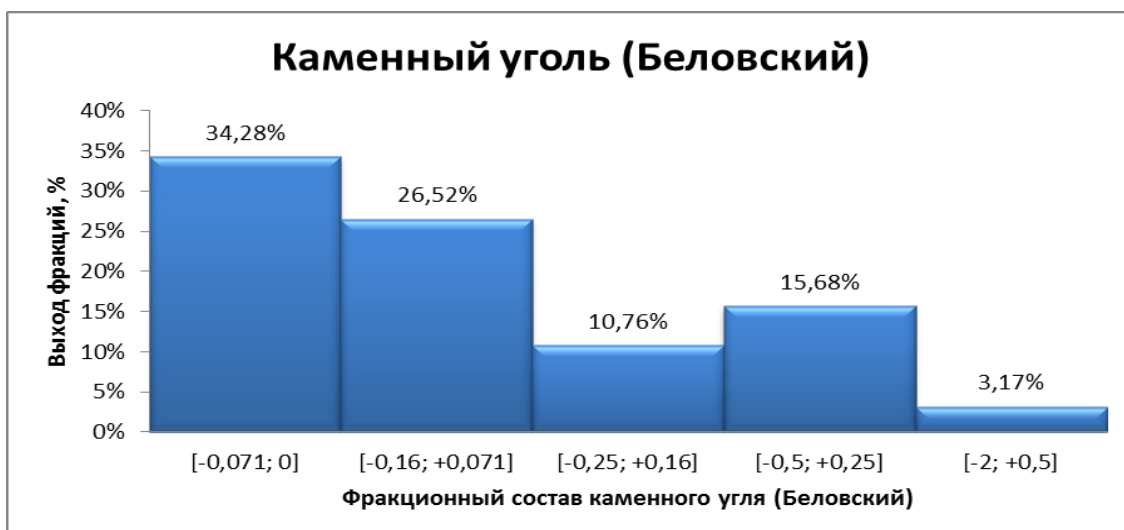


Рисунок 6 – Диаграмма зависимости фракционного состава каменного угля Беловского месторождения от выхода фракций, %

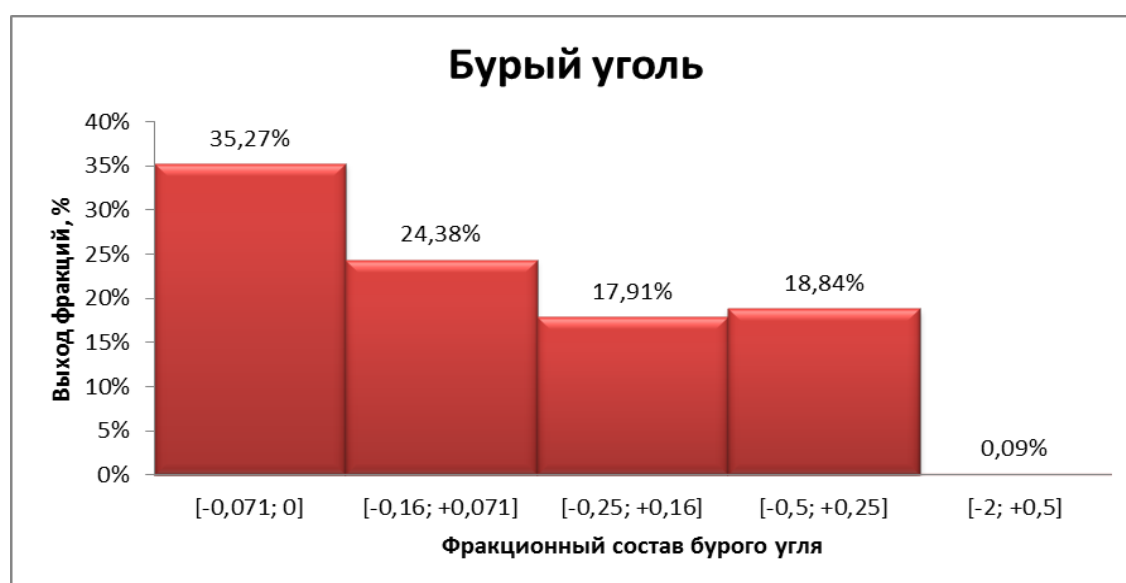


Рисунок 7 – Диаграмма зависимости фракционного состава бурого угля от выхода фракций, %



Рисунок 8 – Диаграмма зависимости фракционного состава антрацита от выхода фракций, %

Петрографический состав и виды химических связей между молекулами определяют способность углей к крошению и размалыванию.

Хрупкость углей определяется по степени их сопротивления раздавливанию, истиранию и удару. Так как наиболее хрупкими являются фюзеновые, далее следуют витреновые и клареновые и наиболее стойкими являются дюреновые угли, то, вероятно, в буром угле больше содержится фюзена по сравнению с другими видами метаморфизованных материалов.

Хрупкость, по литературным данным, зависит от петрографического состава. Четко выраженной зависимости хрупкости от стадии метаморфизма не наблюдается. Но, нами приведенное комплексное исследование показало, что одинаковое ударное воздействие на углеродсодержащие материалы разной степени углефикации позволяет выявить зависимость хрупкости материалов от степени углефикации. Хрупкость уменьшается по мере увеличения степени углефикации, то есть антрацит более прочный.

Высокой степени метаморфизма соответствует большое количество поперечных связей между ядрами углерода, образующих каркас угольного вещества. Поэтому связь между макромолекулами жесткая, что и объясняет высокую прочность угля.

Меньшая прочность углей средней степени метаморфизма объясняется сокращением длины боковых цепей макромолекул, а также присутствием кислорода, в виде двуокиси углерода и воды. Последнее ослабляет структуру за счет уменьшения химической связи через кислородные мостики.

7.2 Сравнение выхода двух фракций разных природных углеродсодержащих материалов разной степени метаморфизма после измельчения

Сравнивались выхода фракций $[-0,25; +0,071]$ и $[-0,071; 0]$ мм. Первая фракция характеризуется наибольшим раскрытием сростков и является наиболее оптимальной для обогатительных процессов. Тонкий продукт в большей степени отвечает задачам химической переработки и использования в энергетике.

Зависимость выхода более мелких фракций от вида угля хорошо видна на диаграмме: наибольшее количество мелких фракций у бурого угля, наименьшее у антрацита.



Рисунок 9 – Диаграмма сравнения выхода двух фракций природных углеродсодержащих материалов разной степени метаморфизма после измельчения

7.3 Выход летучих веществ

Выход летучих веществ из аналитической пробы испытуемого топлива в процентах, вычисляют по формуле:

$$V_a = \frac{100(m_2 - m_3)}{m_2 - m_1} - W^a,$$

где m_1 - масса пустого тигля, г;

m_2 - масса тигля с пробой до испытания, г;

m_3 - масса тигля с нелетучим остатком после испытания, г;

W^a - массовая доля влаги в аналитической пробе топлива, %.

Расхождение между результатами двух параллельных определении выхода летучих веществ по одной аналитической пробе не должна превышать:

Для угля с выходом летучих веществ менее 9%...0,3%;

Для угля с выходом летучих веществ от 9% до 45%...0,5%;

Для угля с выходом летучих веществ от 45% и более – 1,0%.

За результат определения принимают среднее арифметическое значение результатов двух определении.

Результаты определения выхода летучих веществ представлены в таблице 3.

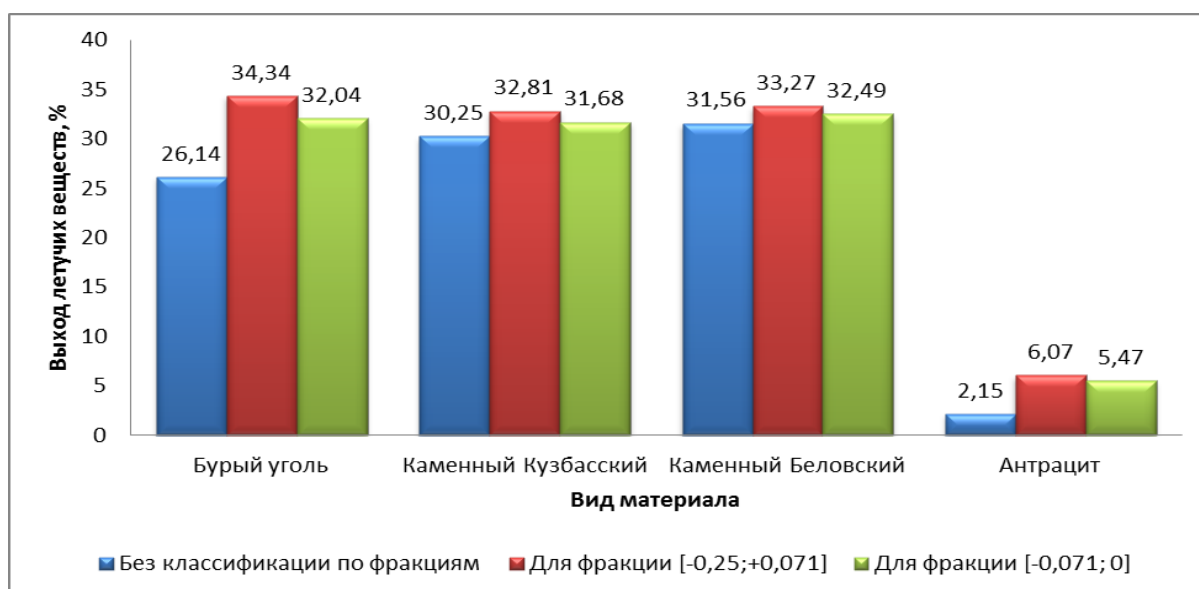


Рисунок 10 – Выход летучих веществ в зависимости от исходных материалов угля и фракционного состава

В состав наших исследуемых фракций [-0,25; +0,071], [-0,071; 0] мм входит больше летучих компонентов.

Как видно из диаграммы, мелкие фракции углей содержат больше летучих компонентов, это доказывает, что те исходные компоненты угля, которые являются более хрупкими, то есть подверглись большему измельчению, и состоят из более летучих компонентов.

Чем меньше выход летучих веществ, тем получают больше тепла при сгорании угля и, следовательно, пользы от промышленного использования угля. Уголь бурый и исследуемые каменные угли имеют примерно одинаковый выход летучих веществ на уровне 30 %, поэтому мы не рекомендуем данные угли сжигать на ТЭЦ. Если использовать эти угли для сжигания, то мы рекомендуем сжигать только самую мелкую фракцию, а из остальных фракций получать товарный продукт: например кокс для углей, бурый уголь перерабатывать в жидкие углеводороды перегонкой, а антрацит использовать при производстве электродов.

Таблица 3 – Результаты исследований на выход летучих веществ

Вид материала	фракция	m1	m2	m3	V _a , %	Среднее арифмет.
Бурый	исходная	32,8797	33,8847	33,6205	26,29	26,14
	исходная	32,1465	33,1614	32,8976	25,99	
	[-0,071]	24,3152	25,3184	24,9974	31,99	32,04
	[-0,071]	26,9254	27,9247	27,6040	32,09	
	[-0,25; +0,071]	25,4456	26,4481	26,0696	34,48	34,34
	[-0,25; +0,071]	25,1414	26,1424	25,8002	34,19	
Каменный Кузбасский уголь	исходная	46,9028	47,9070	47,5981	30,76	30,25
	исходная	67,2104	68,2111	67,9132	29,74	
	[-0,071]	24,2770	25,2774	24,9629	31,44	31,68
	[-0,071]	36,7336	37,7355	37,4156	31,92	
	[-0,25; +0,071]	25,6305	26,6360	26,3047	32,95	32,81
	[-0,25; +0,071]	28,4064	29,4052	29,0789	32,67	

Вид материала	фракция	m1	m2	m3	Va, %	Среднее арифмет.
Каменный Беловский уголь	исходная	35,3574	36,3580	36,0455	31,23	31,56
	исходная	31,9635	32,9730	32,6511	31,89	
	[-0,071]	30,3817	31,3811	31,0565	32,48	32,49
	[-0,071]	33,0660	34,0509	33,7308	32,50	
	[-0,25; +0,071]	32,4451	33,4446	33,1125	33,64	33,27
	[-0,25; +0,071]	34,5690	35,5710	35,2414	32,89	
Антрацит	исходная	32,0719	33,0902	33,0677	2,2	2,15
	исходная	34,2338	35,2408	35,2195	2,1	
	[-0,071]	31,5542	32,5539	32,4993	5,46	5,47
	[-0,071]	25,8058	26,8085	26,7536	5,48	
	[-0,25; +0,071]	26,8647	27,8652	27,8044	6,07	6,07
	[-0,25; +0,071]	28,8680	29,8682	29,8976	6,06	

7.4 Механическая прочность нелетучего остатка исследуемых проб

Механическая прочность вычисляется по отношению «надрешетного» продукта к весу исходного продукта в процентах.

Таблица 4 – Результаты исследований на механическую прочность

Вид	Фракция, мм	m _{исход. пр.} , г	m _{надрешет. пр.} , г	Мех.проч., %	Сред. ариф.
Бурый уголь	исходная	0,76	0	0	0
	исходная	0,77	0	0	
	[-0,071]	0,67	0	0	0
	[-0,071]	0,66	0	0	
	[-0,25; +0,071]	0,64	0	0	0
	[-0,25; +0,071]	0,64	0	0	
Каменный Кузбасский уголь	исходная	0,71	0,12	17	12
	исходная	0,72	0,05	7	
	[-0,071]	0,71	0,13	18	16
	[-0,071]	0,70	0,09	14	
	[-0,25; +0,071]	0,70	0,15	21	17
	[-0,25; +0,071]	0,70	0,09	13	

Вид	Фракция, мм	тисход. пр., г	тнадрешет. пр., г	Мех.проч.,%	Сред. ариф.
Каменный Беловский уголь	исходная	0,71	0,28	39	39
	исходная	0,71	0,28	39	
	[-0,071]	0,66	0,25	37	38
	[-0,071]	0,69	0,27	39	
	[-0,25; +0,071]	0,69	0,29	42	44
	[-0,25; +0,071]	0,69	0,32	46	
Антрацит	исходная	0,99	0	0	0
	исходная	0,98	0	0	
	[-0,071]	0,94	0	0	0
	[-0,071]	0,94	0	0	
	[-0,25; +0,071]	0,82	0	0	0
	[-0,25; +0,071]	0,82	0	0	

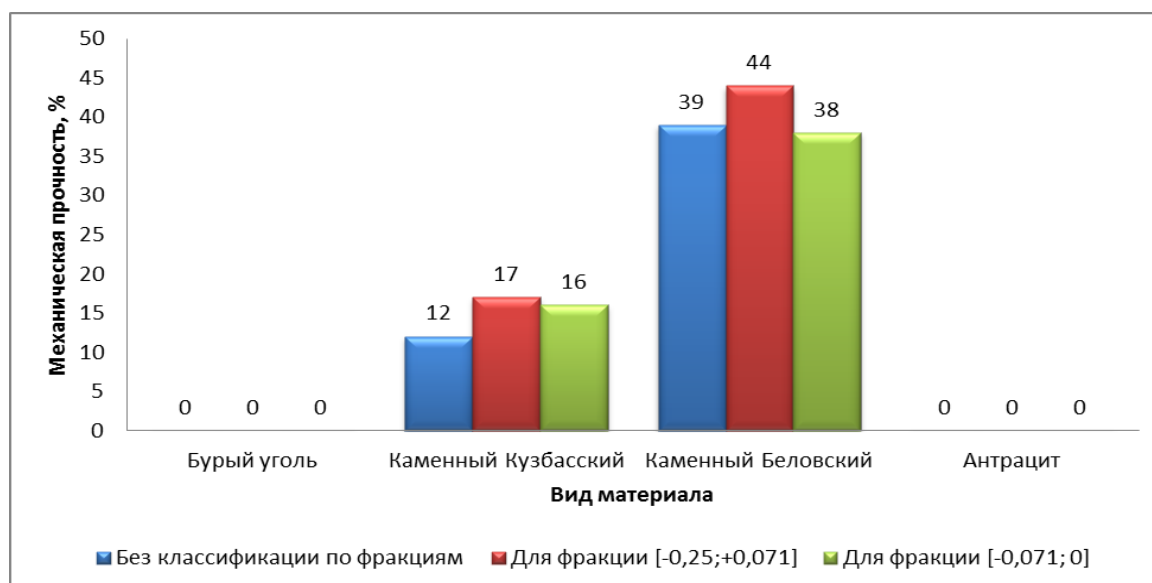


Рисунок 11 – Механическая прочность материалов в зависимости от исходных материалов угля и фракционного состава

Угли разной степени метаморфизма были подвергнуты воздействию температур 840...860° С в закрытых тиглях в течение 7 минут. Каменные угли образовали несплавленный нелетучий остаток, антрацит и бурый уголь образовали порошкообразный нелетучий остаток. Механическая прочность

определяется по сбрасыванию грузика на королек в металлической трубе. У каменного Кузбасского и Беловского угля механическая прочность равна 12% и 39% соответственно. У более мелких фракций каменных углей $[-0,071;0]$ мм механическая прочность меньше, следовательно, если сжигать, то самую мелкую фракцию. Тогда как фракцию $[-0,25;+0,071]$ мм лучше использовать для получения кокса с большей механической прочностью, чем коксы, полученные из исходной неклассифицированной фракции или у самой мелкой.

Прочность крупных фракций зависит главным образом от трещиноватости кусков, прочность кусков небольшой величины – от массивности пенистой структуры кокса, а прочность мелких частиц – от прочности самого однородного материала угля.

Закономерное изменение прочности углей и полученных при их нагревании твердых продуктов имеет большое теоретическое значение, так как эти параметры характеризуют важные свойства, связанные с особенностями их природы, петрографического состава и степени метаморфизма.

Это необходимо иметь в виду для понимания результатов ее определения. Так, прочность крупных кусков кокса, определяемая по измельчаемости в барабане или при сбрасывании с определенной высоты на чугунную плиту, зависит главным образом от трещиноватости кусков, прочность кусков небольшой величины - от массивности пенистой структуры кокса, а прочность мелких частиц - от прочности самого однородного материала угля. Кроме того, механические свойства подвергнутых термообработке углей отражают, в некоторой степени, и различие исходного молекулярного строения отдельных видов твердого топлива.

Также большое практическое значение имеет определение прочности углей. Прочность дисперсных материалов определяется связью между элементами их дисперсной структуры. Исследование прочности углей дает также возможность определить их техническую пригодность для тех или иных технологических процессов.

Для получения, допустим, электродов кокс должен быть более прочным. То есть для получения кокса лучше использовать каменный Беловский уголь, по сравнению с Кузбасским, потому что его механическая прочность более чем в два раза выше и зольность ниже, хотя спекаемость и выход летучих практически одинаковы.

Из фракции $[-0,25; +0,071]$ мм королек получается более прочным.

7.5 Содержание золы твердого топлива

Зольность аналитической пробы в % вычисляют по формуле:

$$A = \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} 100\%,$$

где m_1 – масса прокаленной лодочки (или тигля), г;

m_2 – масса лодочки (или тигля) с навеской испытуемого топлива, г;

m_3 – масса лодочки (или тигля) с остатком после прокаливания навески испытуемого топлива, г.

Таблица 5 – Результаты определения на содержание золы

Вид	Фракция	m_1 , г	m_2 , г	m_3 , г	Изм-ние массы	Контр. прок-ие	A, %	Ср.ар.
Бурый уголь	исходная	8,2731	9,2461	8,6219	8,6199	8,6194	35,59	35,34
	исходная	7,6516	8,6650	8,0106	8,0085	8,0072	35,09	
	[-0,071]	7,5403	8,5145	7,9245	7,9251	-	39,50	39,51
	[-0,071]	8,2741	9,2394	8,6545	8,6555	-	39,51	
	[-0,25; +0,071]	7,6142	8,6145	7,9459	7,9459	-	33,16	33,14
	[-0,25; +0,071]	7,6520	8,6391	7,9786	7,9789	-	33,12	
Камен. Кузбасс. Уголь	исходная	8,7241	7,6790	8,8469	8,8451	8,8449	12,65	12,66
	исходная	8,6052	9,5213	8,7236	8,7213	8,7212	12,66	
	[-0,071]	8,2037	9,1964	8,3025	8,3029	-	9,99	9,92
	[-0,071]	7,8596	8,9425	7,9657	7,9663	-	9,85	
	[-0,25; +0,071]	20,8854	21,8845	21,1865	20,9788	20,9783	9,30	9,34
	[-0,25; +0,071]	20,2107	21,2125	20,5072	20,3056	20,3046	9,37	
Камен. Беловск. Уголь	исходная	8,2764	9,3714	8,3928	8,3899	8,3889	10,27	10
	исходная	7,9010	8,9323	8,0029	8,0013	-	9,73	
	[-0,071]	23,8333	24,8511	24,1088	23,9172	23,9165	8,17	8,23
	[-0,071]	20,0412	21,0277	20,3473	20,1235	20,1230	8,29	
	[-0,25; +0,071]	21,1329	22,2129	21,4323	21,2230	21,2222	8,27	8,53
	[-0,25; +0,071]	19,5760	20,6061	19,8987	19,6668	19,6666	8,79	

Вид	Фракция	m1, г	m2, г	m3, г	Изм-ние массы	Контр. прок-ие	A, %	Ср.ар.
Антрацит	исходная	8,2020	9,2142	8,2552	8,2548	-	5,22	4,92
	исходная	7,8574	8,7228	7,8976	7,8973	-	4,61	
	[-0,071]	8,2772	9,1994	8,3170	8,3189	-	4,52	4,54
	[-0,071]	7,8990	8,7785	7,9393	7,9391	-	4,56	
	[-0,25; +0,071]	8,7248	9,7187	8,7712	8,7563	8,7559	3,13	3,12
	[-0,25; +0,071]	8,6054	9,6018	8,6838	8,6368	8,6363	3,10	

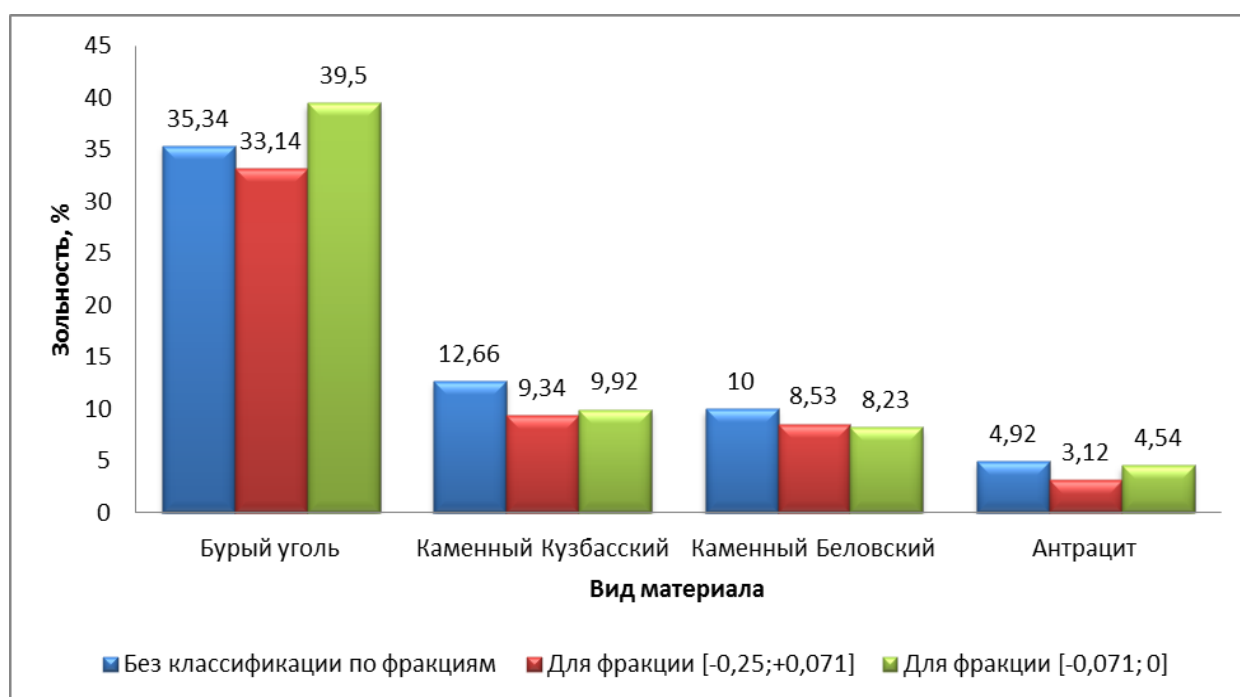


Рисунок 12 – Зольность материалов в зависимости от исходных материалов угля и фракционного состава

Зольность угля не зависит от степени метаморфизма породы, определяясь в значительной степени лишь условиями формирования. Именно поэтому уголь бурый может обладать меньшими значениями зольности, чем уголь каменный. Исходя из этого, также становится ясно, что даже уголь бурый или каменный одного месторождения может содержать различное количество примесей, в зависимости от условий углефикации в различных частях земной поверхности.

Совокупность всей влаги и золы в породе называется балластом. Чтобы не переплачивать за «пустую» породу важно уметь самому рассчитывать и влажность, и зольность угля.

На рисунке 12 приведена диаграмма исследования зольности углей различной степени метаморфизма. Хорошо видно, что наибольшей зольностью обладает бурый уголь, а также более мелкая фракция бурого угля. Поэтому мы рекомендуем вести рассев исходных марок углей по фракциям, анализировать их состав (зольность) и учитывать это при получении товарных продуктов.

Видно, что каменные угли и антрацит обладают меньшим содержанием золы, следовательно, пригодны для получения товарных продуктов, например, кокса из углей и производства электродных изделий из антрацита.

7.6 Спекаемость углеродсодержащих материалов по Рогу

Показатель спекаемости (индекс Рога RI) вычисляется по формуле:

$$RI = \frac{100}{3Q} \left(\frac{q + q_3}{2} + q_1 + q_2 \right),$$

где Q – масса нелетучего остатка после обжига, г;

q – масса надрешетного продукта до испытания в барабане, г;

q₁, q₂, q₃ – масса надрешетного продукта после испытаний в барабане, г.

Результаты определения веса нелетучего остатка представлены в таблице.

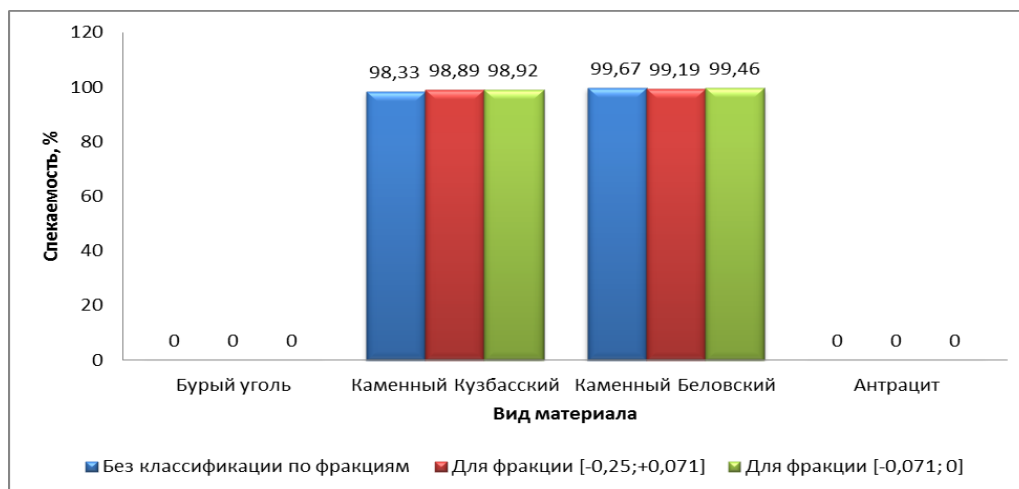


Рисунок 13 – Спекаемость материалов в зависимости от исходных материалов угля и фракционного состава

Таблица 6 – Результаты определения спекаемости исследуемых материалов

	фракция	Масса остатка					RI, %	Сред. ариф.
		Q	q	q ₁	q ₂	q ₃		
Бурый уголь	исходная	25,7783	0	-	-	-	-	-
	исходная	27,4438	0	-	-	-	-	-
	[-0,071]	24,6874	0	-	-	-	-	-
	[-0,071]	23,9889	0	-	-	-	-	-
	[-0,25; +0,071]	25,3420	0	-	-	-	-	-
	[-0,25; +0,071]	24,6797	0	-	-	-	-	-
Камен. Кузбас.	исходная	32,0221	31,8893	31,4899	31,3939	31,3461	98,37	-
	исходная	23,6533	23,5861	23,2688	23,1484	23,0906	98,29	-
	[-0,071]	40,1919	39,9629	39,2847	39,2599	39,2540	97,99	98,92
	[-0,071]	37,1648	36,9952	36,6066	36,4915	36,4707	99,85	-
	[-0,25; +0,071]	35,5774	35,4678	35,2175	35,1465	35,1049	98,98	98,89
	[-0,25; +0,071]	33,6183	33,4601	33,2188	33,1518	33,1100	98,81	-
Камен. Беловск.	исходная	29,9736	29,9694	29,8962	29,8372	29,7786	99,65	99,67
	исходная	29,0066	29,0002	28,9380	28,8852	28,8466	99,69	-
	[-0,071]	28,1887	28,1219	27,9981	27,9455	27,9368	99,29	99,46
	[-0,071]	29,5555	29,5459	29,4673	29,4109	29,3773	99,63	-
	[-0,25; +0,071]	26,7625	26,7404	26,6303	26,2244	26,2189	98,81	99,19
	[-0,25; +0,071]	25,4707	25,4490	25,3745	25,3233	25,3166	99,56	-
Антрацит	исходная	24,5080	0	-	-	-	-	-
	исходная	28,6232	0	-	-	-	-	-
	[-0,071]	25,3712	0	-	-	-	-	-
	[-0,071]	25,4888	0	-	-	-	-	-
	[-0,25; +0,071]	29,3024	0	-	-	-	-	-
	[-0,25; +0,071]	28,7092	0	-	-	-	-	-

Спекаемость у антрацита и бурого угля отсутствует, у каменных углей (беловского и кузбасского) примерно одинаковы.

Это можно объяснить тем, что на спекаемость угля влияет и степень метаморфизма угля, и его петрографический состав. Не всегда уголь, обладающий наилучшими показателями углефикации, будет спекаться. Так витринит

и липтинит переходят в жидкоподвижное состояние. Причем последний обладает большей текучестью. Инертинит не плавится вовсе. Семивитринит, микрокомпоненты которого образуют промежуточную группу, хоть и размягчаются, но не образуют пластического слоя. Те микрокомпоненты, которые не участвуют в спекании, называются отошающими. К ним относятся 2/3 группы семивитринита и вся группа инертинита.

Характеристика нелетучего угольного остатка дает относительное представление о спекаемости углей и пригодности их для технологических целей.

Хорошая спекаемость исследованных каменных углей (около 99 %) позволяет предположить возможность получения из них кокса, который можно использовать, например, в металлургии.

Выводы по разделу семь

Одинаковое ударное воздействие на углеродсодержащие материалы разной степени углефикации позволяет выявить зависимость хрупкости материалов от степени углефикации. Хрупкость уменьшается по мере увеличения степени углефикации, то есть антрацит более прочный. Такой вид материала сложнее всего поддается измельчению, так как с повышением стадии метаморфизма измельчаемость углеродсодержащих материалов понижается. Самый хрупкий уголь – бурый, он легче всего поддается измельчению.

Чем меньше выход летучих веществ, тем получают больше тепла при сгорании угля и, следовательно, пользы от промышленного использования угля. Уголь бурый и исследуемые каменные угли имеют примерно одинаковый выход летучих веществ на уровне 30 %, поэтому мы не рекомендуем данные угли сжигать на ТЭЦ. Если использовать эти угли для сжигания, то лучше сжигать только самую мелкую фракцию, а из остальных фракций получать товарный продукт: например кокс для углей, бурый уголь перерабатывать в жидкие углеводороды перегонкой, а антрацит использовать при производстве электродов.

Для получения кокса лучше использовать каменный Беловский уголь по сравнению с Кузбасским, потому что его механическая прочность более чем в два раза выше, зольность ниже, однако, спекаемость и выход летучих практически одинаковы. Потеря массы при выходе летучих у Беловского угля больше чем у Кузбасского (менее 2 масс.%), но он значительно прочнее, что будет способствовать меньшей потере массы при осуществлении вспомогательных

операций в углеподготовительных цехах. Сильно крошиться такой уголь не будет.

Так как зольность более мелкой фракции выше, то способ измельчения и классификации по фракциям можно использовать как метод деминерализации и обогащения углей на основе удаления мелкой (шлаковой) фракции.

Характеристика нелетучего угольного остатка дает относительное представление о спекаемости углей и пригодности их для технологических целей.

Хорошая спекаемость исследованных каменных углей (около 99 %) позволяет предположить возможность получения из них кокса, который можно использовать, например, в металлургии.

Таким образом, разработки по работе можно использовать для анализа углеродсодержащих материалов с целью определения возможности их применения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проанализированы литературные данные по составу, свойствам и структуре каустобиолитов угольного ряда.

Разработана методика по совместному измельчению и анализу физико-химических свойств углей.

Проведя анализ на физико-механические характеристики угля, можно сказать, что рассев по фракциям играет роль при выборе сферы использования угольных материалов.

Так, исходя из полученных данных, самую мелкую фракцию можно использовать для сжигания в ТЭЦ. Более крупные фракции лучше использовать в качестве получения товарного продукта. Антрацит же лучше использовать при производстве электродов.

Таким образом, изучение углей при измельчении, классификации по фракциям и с последующим изучением физико-механических свойств позволит студентам более наглядно на практике осваивать материал и более глубоко понимать механизмы превращений углеродсодержащих материалов и делать выводы по их технической пригодности для тех или иных технологических процессов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Диколенко, Е.Я. Российская угольная энциклопедия: справочник / Е.Я. Диколенко, Е.А. Козловский, – Москва: Изд-во ВСЕГЕИ, 2004. – 649 с.
- 2 Юсупов, Т.С. Химическая деминерализация углей разных стадий метаморфизма / Т.С. Юсупов, Л.Г. Шумская, А.П. Бурдуков // ФТПРПИ – 2009. – №4. – 111 с.
- 3 Каталымов, А.В. Переработка твердого топлива: учебное пособие / А.В. Каталымов, А.И. Кобяков. – Калуга: Изд-во Н. Бочкаревой, 2003. – 248 с.
- 4 ГОСТ 25543-88. Угли бурые, каменные и антрациты. Классификация по генетическим и технологическим параметрам. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 17 с.
- 5 Шкурский, Е.Ф. Шахтная геология: учебное пособие / Е.Ф. Шкурский. – Алчевск: Изд-во ДонГТУ, 2007 – 278 с.
- 6 Дыскина, Б.Ш. Каустобиолиты: учебное пособие / Б.Ш. Дыскина, К.Р. Смолякова. – Челябинск: Изд. Центр ЮУрГУ, 2012. – 47 с.
- 7 Мазор, Ю.Р. Закономерности и геологические причины преобразования углей: автореф. дис. на соиск. уч. степ. д. г.-м. наук / Ю.Р. Мазор. – М.: Изд-во МГУ, 1985. – 40 с.
- 8 Юсупов, Т.С. Влияние метаморфизма на измельчаемость углей при ударных воздействиях / Т.С. Юсупов, А.П. Бурдуков // Химия твердого топлива. – 2013. – №4. – с. 112.1-112.4.
- 9 Русчев, Д.Д. Химия твердого топлива: учебное пособие / Д.Д. Русчев. – София: Изд-во София, 1976. – 245 с.
- 10 Брод, И.О. Основы геологии нефти и газа: учебное пособие / И.О. Брод., Н.А. Еременко. – Москва: Изд-во Московского университета, 1953. – 55-56 с.
- 11 Липович, В.Г. Химия и переработка угля: учебное пособие / В.Г. Липович, И.В. Калецич, Г.А.Калабин. – Москва: Изд-во Химия, 1988 – 70 с.
- 12 Макаров, Г.Н. Химическая технология твердых горючих ископаемых: учебник для вузов / Г.Н. Макаров, Г.Д. Харлампович. - Москва: Изд-во Химия. 1986. - 496с.
- 13 Митронов, Д.В. Введение в химию и технологию переработки угля: учебное пособие /Д.В. Митронов. - Якутск, 2011. – 172 с.

- 14 Халикова, З.С. Химия и физика нефти, газа и угля: учебное пособие / З.С. Халикова. - Караганда: Изд-во КарГУ, 2010. – 143с.
- 15 Пройдаков А.Г. Окисление углей в процессе механообработки / А.Г. Пройдаков, Г.А. Калабин // Химия твердого топлива. – 2009. – №2. – с. 28–37.
- 16 Юсупов, Т.С. Реакционная способность углей различных стадий метаморфизма в процессах термоокислительной деструкции / Т.С. Юсупов, Л.Г. Шумская, А.П. Бурдуков // Химия в интересах устойчивого развития. – 2011. – №4. – с. 427–432.
- 17 Зубков, В.В. Краткий курс общей петрографии / В.В. Зубков. – М.: Государственное научно-техническое изд-во литературы по горному делу, 1962. – 240 с.
- 18 Бухаркина, Т.В. Химия природных энергоносителей и углеродных материалов: учебное пособие / Т.В. Бухаркина, Н.Г. Дигуров. – М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 1998. – 192 с.
- 19 Комарова, Т.В. Получение углеродных материалов: учебное пособие / Т.В. Комарова. – М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2002. – 96 с.
- 20 Ахметов, С.А. Технология глубокой переработки нефти и газа: учебное пособие для вузов / С.А. Ахметов. – Уфа: Гилем, 2002. – 672 с.
- 21 Еремин, И.В. Марочный состав углей и их рациональное использование: справочник / И.В. Еремин, Т.М. Броновец, В.Ф. Череповский, – М.: Недра, 1994. – 254с.
- 22 Камнева, А.И. Теоретические основы химической технологии горючих ископаемых: учебник для вузов / А.И. Камнева, В.В. Платонов, – Москва: Химия, 1990. – 288 с.
- 23 Юсупов, Т.С. Активационное измельчение и глубокая деминерализация углей с целью повышения их реакционной способности / Т.С. Юсупов, Л.Г. Шумская, А.П. Бурдуков // Горение и плазмохимия. – 2006. – №4. – с. 267–275.
- 24 Рубан, В. А. Современное состояние процессов обогащения углей / В.А. Рубан // Химия твердого топлива. – 2005. – №1. – с. 101–106.
- 25 Резняков, А.Б. Горение натурального твердого топлива: учебное пособие / А.Б. Резняков // . – Алма-Ата: Изд-во Наука, 1998. – 315 с.