



Г. Л. Евменова

НАПРАВЛЕНИЕ КОМПЛЕКСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

Учебное пособие



Кемерово 2017

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Кузбасский государственный технический университет
имени Т. Ф. Горбачева»

Г. Л. Евменова

**НАПРАВЛЕНИЕ КОМПЛЕКСНОГО
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ**

Учебное пособие

Кемерово 2017

УДК 622.33.013:658.562(075.8)

Рецензенты:

Клейн М. С., доктор технических наук, профессор кафедры обогащения полезных ископаемых ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева»

Удовицкий В. И., доктор технических наук, заведующий кафедрой обогащения полезных ископаемых, председатель учебно-методической комиссии специальности 21.05.04 «Горное дело» ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева»

Евменова Г. Л. **Направление комплексного использования минерального сырья** : учеб. пособие / Г. Л. Евменова ; КузГТУ. – Кемерово, 2017. – 115 с.

ISBN 978-5-906969-05-7

В учебном пособии показаны основные направления комплексного использования минерального сырья, предоставлена информация, необходимая при решении технологических задач обогащения полезных ископаемых с учетом полного использования основных сырьевых ресурсов и попутно получаемых отходов производства при одновременном снижении антропогенной нагрузки на окружающую среду.

Подготовлено по дисциплине «Направление комплексного использования минерального сырья» для студентов специальности 21.05.04 «Горное дело», специализации «Обогащение полезных ископаемых».

Печатается по решению редакционно-издательского совета КузГТУ.

УДК 622.33.013:658.562(075.8)

ISBN 978-5-906969-05-7

© КузГТУ, 2017

© Евменова Г. Л., 2017

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	5
ВВЕДЕНИЕ	6
1. СЫРЬЕВАЯ БАЗА ДЛЯ КОМПЛЕКСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ И ПЕРЕРАБОТКИ УГЛЕЙ.....	7
1.1. Общие сведения об ископаемых углях. Происхождение углей.....	67
1.2. Показатели качества углей и формы их выражения	9
1.3. Классификация углей по генетическим и технологическим параметрам.....	28
1.4. Международная система кодификации углей.....	34
2. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УГЛЕЙ.....	37
2.1. Использования углей по потребительским свойствам.....	37
2.2. Технологическое использование углей.....	37
2.3. Использование угля на энергетические нужды.....	44
3. ДИВЕРСИФИКАЦИЯ УГОЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ.....	48
3.1. Производство водоугольного топлива.....	48
3.2. Подземная газификация углей.....	52
3.2.1. Газификация угля.....	52
3.2.2. Технология подземной газификации углей.....	53
3.3. Производство искусственного жидкого топлива.....	58
3.4. Угольные адсорбенты.....	61
3.4.1. Общая характеристика угольных адсорбентов и их физико-химические свойства.....	61

3.4.2. Получение активированных углей.....	63
3.4.3. Требования к углям при производстве адсорбентов.....	65
3.5. Получение и использование сульфоуглей.....	67
3.6. Производство углещелочных реагентов.....	69
3.7. Производство гуминовых стимуляторов роста растений.....	70
4. ОКУСКОВАНИЕ УГОЛЬНОЙ МЕЛОЧИ.....	73
4.1. Назначение и способы окускования угольной мелочи	73
4.2. Брикетирование	75
4.2.1. Брикетирование со связующим.....	76
4.2.2. Связующие вещества для брикетирования.....	81
4.3. Получение топливных гранул.....	85
4.4. Пелетирование.....	92
5. УТИЛИЗАЦИЯ ОТХОДОВ УГЛЕБОГАЩЕНИЯ.....	96
5.1. Состав и свойства отходов углеобогащения.....	96
5.2. Извлечение германия.....	97
5.3. Получение глинозема.....	98
5.4. Применение отходов в строительстве и производстве строительных материалов.....	100
5.5. Получение абразивных материалов.....	102
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	104
Приложение	106
Список литературы	112

ПРЕДИСЛОВИЕ

Учебное пособие «Направление комплексного использования минерального сырья» предназначено для обучения студентов решать технологические задачи обогащения угля с учетом полного использования основных сырьевых ресурсов и попутно получаемых отходов производства при одновременном снижении антропогенной нагрузки на окружающую среду.

Пособие состоит из пяти глав.

В первой главе кратко изложены условия образования углей, стадии углеобразовательного процесса, рассмотрены многочисленными показателями качества углей, и их условные обозначения, петрографический и элементный составы, а также существующие классификации.

В главе второй рассмотрены основные направления использования углей по потребительским свойствам.

Глава 3 посвящена диверсификации угольных продуктов. Приведены современные технологии для получения различных угольных продуктов, применяемых как в России, так и за рубежом

В главе 4 рассмотрены методы окускования угольной мелочи: брикетирование, гранулирование, пелетирование. Приведены принципиальные схемы оборудования для этих целей.

В главе 5 приведены современные технологии утилизации отходов угледобычи и углеобогащения для получения конкурентоспособной продукции, имеющей спрос на внутреннем и внешнем рынках.

Представленное пособие учитывает специфику технологии переработки минерального сырья на современном этапе развития техники и является дополнением к известной литературе по этому вопросу.

Учебное пособие иллюстрировано необходимыми схемами, рисунками, что помогает усвоению материала дисциплины.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из важнейших направлений развития современного производства является максимальное использование природного сырья при минимальном ущербе окружающей среде. Как известно, практически все сырье является комплексным, и в среднем более трети его количества составляют сопутствующие элементы, которые могут быть извлечены только при комплексной его переработке. Так, уже в настоящее время почти все серебро, висмут, платина, а также более 20 % золота получают попутно при переработке комплексных руд.

Ископаемый уголь, является источником для производства электроэнергии, тепла, металлургического кокса (с получением широкой гаммы химической продукции). Кроме этого из угля в настоящее время можно получать конкурентоспособные продукты, например: окускованное топливо (брикеты, гранулы, пеллеты), газ подземной газификации угля (ПГУ), водоугольное топливо (ВВУТ), искусственное жидкое топливо, адсорбенты и стимуляторы роста растений и животных и пр.

При обогащении и использовании органической массы углей образуются отходы обогащения, зола, шлаки и др. Их следует рассматривать как крупные ресурсы уже добытого из недр сырья. В Кузбассе, где добывающие отрасли являются ведущими, за многие годы накопилось большое количество отходов угледобычи, углеобогащения, железорудной промышленности и т. д.

Многие отрасли промышленности используют традиционные сырьевые источники (получение алюминия, строительных материалов, некоторых редких элементов), в то время как отходы добычи и переработки угля содержат определенное количество такого сырья. В Кузбассе в последние годы накапливается положительный опыт использования отходов углеобогащения, но это лишь опыт, а не массовое производство.

Следует отметить, что в результате использования отходов углеобогащения будет улучшаться санитарно-гигиеническое состояние окружающей среды, а также существенно уменьшатся непроизводительно занятые земельные угодья в нашем регионе. При этом решается и еще чрезвычайно важная задача: экономия тех природных ресурсов, которые использует человек в своей производственной деятельности. Ведь мы живем на планете с очень ограниченным количеством полезных ископаемых. Об этом забывать нельзя.

1. СЫРЬЕВАЯ БАЗА ДЛЯ КОМПЛЕКСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ И ПЕРЕРАБОТКИ УГЛЕЙ

1.1. Общие сведения об ископаемых углях. Происхождение углей

Природные угли – это твердые горючие вещества органического происхождения. Исходным материалом их образования служит преимущественно остатки растений, произрастающих на земле в древнейшие времена, много сотен миллионов лет тому назад. Жаркий и влажный климат того периода способствовал произрастанию на земле лесов, занимавших большие площади и состоявших из огромных деревьев-каламитов, лепидодендронов, древовидных папоротников, хвощей и других. Эти растения, постепенно отмирая, образовывали большие накопления растительных остатков.

Известно, что каждое растение образуется из клеток, в состав которых входят клетчатка (целлюлоза), состоящая из углерода, водорода и кислорода, и внутриклеточное вещество, состоящее из белков, жиров, углеводов и других веществ.

В зависимости от природных условий и состава растительных остатков химические преобразования исходных органических веществ в угольное вещество протекали различными путями, что обусловило многообразие генетических типов углей и их свойств. В этой связи выделено две группы углей: гумолиты (гумусовые угли), образовавшиеся преимущественно продуктами превращения отмерших высших растений; сапропелиты (сапропелевые), сложенные продуктами превращения низших растений и простейших животных организмов (зоопланктона).

Наиболее аргументированной в настоящее время считается гипотеза последовательности стадий образования гумусовых углей: торф → бурый уголь → каменный уголь → антрацит. Последовательность преобразования называют стадиями метаморфизма. Бурые угли относят к самой низкой, а антрациты к самой высокой стадиям метаморфизма.

Бурые угли, однако, не обязательно являются промежуточной стадией образования. В зависимости от условий генезиса (происхождения, истории зарождения) они могут быть и конечным продуктом.

Торфяная стадия представляется как узловая в образовании

гумусовых углей. Она представляет собой процесс разложения растительных остатков, скопившихся на берегах морей, рек, других водоемов при недостатке кислорода, а затем, по мере покрытия их водой, доступ воздуха прекращается полностью. Процесс дальнейшего разложения продолжается за счет кислорода самих растений с одновременным увеличением содержания в них углерода. Этот процесс – углеобразования или образования твердого остатка гумуса – получил название гумификации угольной массы.

Торф превращается в бурый уголь только после полного разрушения растительных остатков и появления на торфянике кровли из минеральных веществ. В это время начинается процесс уплотнения и обезвоживания торфа. Дальнейшее превращение торфа в уголь протекает при обязательном воздействии геологических факторов: времени, повышенной температуры и давления.

Каменный уголь является смесью продуктов глубокого изменения органических соединений и гуминовых веществ с дальнейшим накоплением углерода (в форме конденсированных ароматических слоев). В каменных углях нет землистых или рыхлых составных частей, обычно обязательных для бурых углей. Каменные угли имеют плотное сложение, что объясняется тем высоким давлением, которое испытывали эти угли, находясь в пласте. Наиболее метаморфизованным каменным углем является антрацит.

Характеристики торфа и углей по содержанию в них органического вещества приведены в табл. 1 [1].

Таблица 1

Содержание органических веществ в торфе и углях

Наименование	Содержание, %		
	углерода	водорода	кислорода и азота
Торф	50,0–62,5	5,2–6,4	30,5–44,0
Бурый уголь	65,0–79,4	4,5–6,6	12,5–30,0
Каменный уголь	76,0–95,0	3,4–5,7	2,3–18,6
Антрацит	91,0–97,0	1,3–3,0	1,0–2,0

Разнообразная морфология (строение и форма) растительных остатков, а также неодинаковая скорость их химического преобразования привели к высокой степени неоднородности угольного вещества, что и обусловило значительные различия в петрографическом составе и в физико-химических свойствах ископаемых углей.

А это, в свою очередь, существенно влияет на выбор рационального направления использования углей.

1.2. Показатели качества углей и формы их выражения

Качество угля изучается в условиях естественного его залегания, в добытой и отгружаемой товарной продукции, а также при поступлении на углеперерабатывающие и углепотребляющие предприятия.

Методические стандарты устанавливают единые методы контроля качества угля, средства и порядок проведения испытаний.

В естественном состоянии изучаются петрографический состав и физические свойства угля. Определение вещественного химического состава и технологических свойств угля производятся по результатам химических реакций, термического и иных воздействий, моделирующих процессы его переработки; совокупность различных показателей и методов их определения объединяются в понятия: технический, элементный и др.

Все показатели состава и свойств угля и их качественные характеристики имеют условные обозначения в виде буквенных символов, которые сопровождаются нижними и верхними буквенными индексами. Нижний индекс дополняет характеристику соответствующего (выраженного символом) показателя, например, массовой доли влаги угля W : общей W_t , внешней W_{ex} , гидратной W_m и т. п. Верхний индекс указывает состояние угля, к которому относится показатель:

- *рабочее* (индекс r) с общей влагой и зольностью, с которыми он добывается, отгружается или используется;

- *аналитическое* (индекс a), характеризуемое подготовкой пробы угля, в которую включается размол с крупностью зерен менее 0,2 мм (или другими размерами, предписанными специальными методами анализа), и приведением ее в равновесие с условиями лабораторного помещения;

- *сухое* (индекс d) без содержания общей влаги (кроме гидратной).

- *сухое беззольное* (индекс daf) с исключением общей влаги и зольности;

- *влажное беззольное* (индекс *af*) с исключением зольности, но с учетом влажности (влагоемкости);

- *органической массы* угля (индекс *o*) с исключением влаги и минеральной массы.

Номенклатура и условные обозначения основных показателей качества угля, используемых в России при разработке классификационных и потребительских стандартов (технических условий), а также при оценке уровня качества и характеристики топлива, приведены в ГОСТе 27313-95, а ниже рассмотрены отдельные из них.

Петрографический состав углей. Результаты петрографического (петрос – камень; графо – пишу, греч.) анализа углей позволяет установить природу органического материала, а значит, и сделать выбор рационального использования угля. В настоящее время петрографические исследования применяются при разведочных и поисковых работах, а петрографические характеристики являются обязательными при утверждении запасов.

Установлено, что при одном и том же химическом составе вещество угля может состоять из следующих четырех ингредиентов (или литотипов) угля, определяемых петрографическими исследованиями:

– фюзена, матового, волокнистого, мягкого порошкообразного угля;

– витрена, блестящего угля;

– кларена, полублестящего угля;

– дюрена, матового, твердого темного угля.

Наиболее чистыми являются блестящие (витрен, кларен) разновидностей угля. Матовый (дюрен), особенно волокнистый (фюзен) – больше загрязнены минеральными примесями.

В международной классификации ингредиенты называются макролитотипами. Под микроскопом, однако, можно наблюдать значительно большее число составляющих, которые обычно называют микрокомпонентами или мацералами, которые не поддаются более подробному делению петрографическими методами. Согласно номенклатуре, в соответствии с ГОСТ 9414-93 [2] их объединяют в группы витринита V_t , семивитринита S_v , инертинита I (фюзенита F), липтинита L , (альгинита Ag , микстинита M), минеральных примесей Me .

Деление на мацералы идет с учетом превращения исходного материала в различные части угольного вещества. В табл. 2 представлены литотипы углей с распределением мацералов [3]. Все микрокомпоненты отличаются друг от друга физическими и химическими свойствами: плотностью, химическим составом, теплотой сгорания и другими показателями.

Таблица 2

Литотипы гумусовых углей

Литотипы	Содержание мацералов групп, %:		Признаки, используемые для выделения
	витринита	липтинита, инертинита, минеральных включений	
Витрен	100	-	Черный цвет, сильный блеск, однородность, раковистый излом, хрупкость, хорошо выраженная эндогенная трещиноватость
Фюзен	-	Мацералы группы инертинита при различном содержании минеральных включений	Черный или серо-черный цвет, матовый или полуматовый с шелковистым блеском, волокнистое строение, низкая механическая прочность (сажистость), повышенная минерализованность
Кларен	75 и более	До 25	Аналогичны указанным для витрена, дополнительно – ясно выраженная полосчатость, угловато-неровный излом
Дюрен	До 25	75 и более	Серый или серо-черный цвет, блеск матовый маслянистый. Однородный, плотный, очень твердый и вязкий, неровный зернистый излом, поверхность излома шероховатая, раскалывается на крупные куски

Элементный состав углей. Основными элементами, входящими в состав любого вида угля, являются углерод С, водород Н, кислород О, азот N и сера S, которые составляют органическую массу угля. Кроме этих основных элементов в состав угля входят минеральные примеси Мин (которые при сгорании образуют золу А) и влага W. Таким образом, состав угля может быть представлен следующей формулой:

$$C + H + O + N + S + \text{Мин} + W = 100 \%$$

В процессе сгорания уголь выделяет тепловую энергию, которая может быть использована для различных целей в промышленности и в быту, поэтому для оценки угля как топлива его условно делят на две составные части – горючую массу, которая представляет собой безводную и беззольную часть угля, выделяющую при сгорании тепло, и не горючую часть, являющуюся балластом топлива.

Горючая часть (или горючая масса) углей состоит из С, О, Н, N и S в различном их состоянии. Минеральные примеси при сгорании угля подвергаются различным химическим превращениям (теряют химически связанную воду, выделяют углекислый газ и так далее). Поэтому масса золы меньше, как правило, массы минеральных примесей.

Содержание в угле органической и горючей массы определяется следующими соотношениями (в процентах):

$$\text{органическая масса} = 100 - (\text{Мин} + W),$$

$$\text{горючая масса} = 100 - (A + W).$$

Составные части угля показаны схематически на рис. 1.

Углерод является основной, наиболее важной составной частью угля. При полном сгорании углерод выделяет 8140 ккал/кг тепла, поэтому, чем больше в угле содержится углерода, тем больше из этого угля можно получить тепла. С увеличением степени углефикации содержание углерода повышается, а остальных элементов соответственно уменьшается, как уже было показано в табл. 2.

Водород, находящийся в угле в свободном состоянии или в соединении с углеродом, при сгорании выделяют 34200 ккал/кг тепла. Водород, химически соединенный с кислородом в виде воды, называется связанным и тепла не выделяет; наоборот, для испарения воды, образующийся при сгорании угля, требуются затраты тепла.

Кислород в угле обычно находится в виде прочных химических соединений с водородом H_2O и углеродом CO_2 и в процессе сгорания не участвует.

Азот присутствует в угле в виде весьма ценных органических азотистых соединений. Эти соединения используются при химической переработке угля. При горении угля азот легко переходит в свободное состояние.

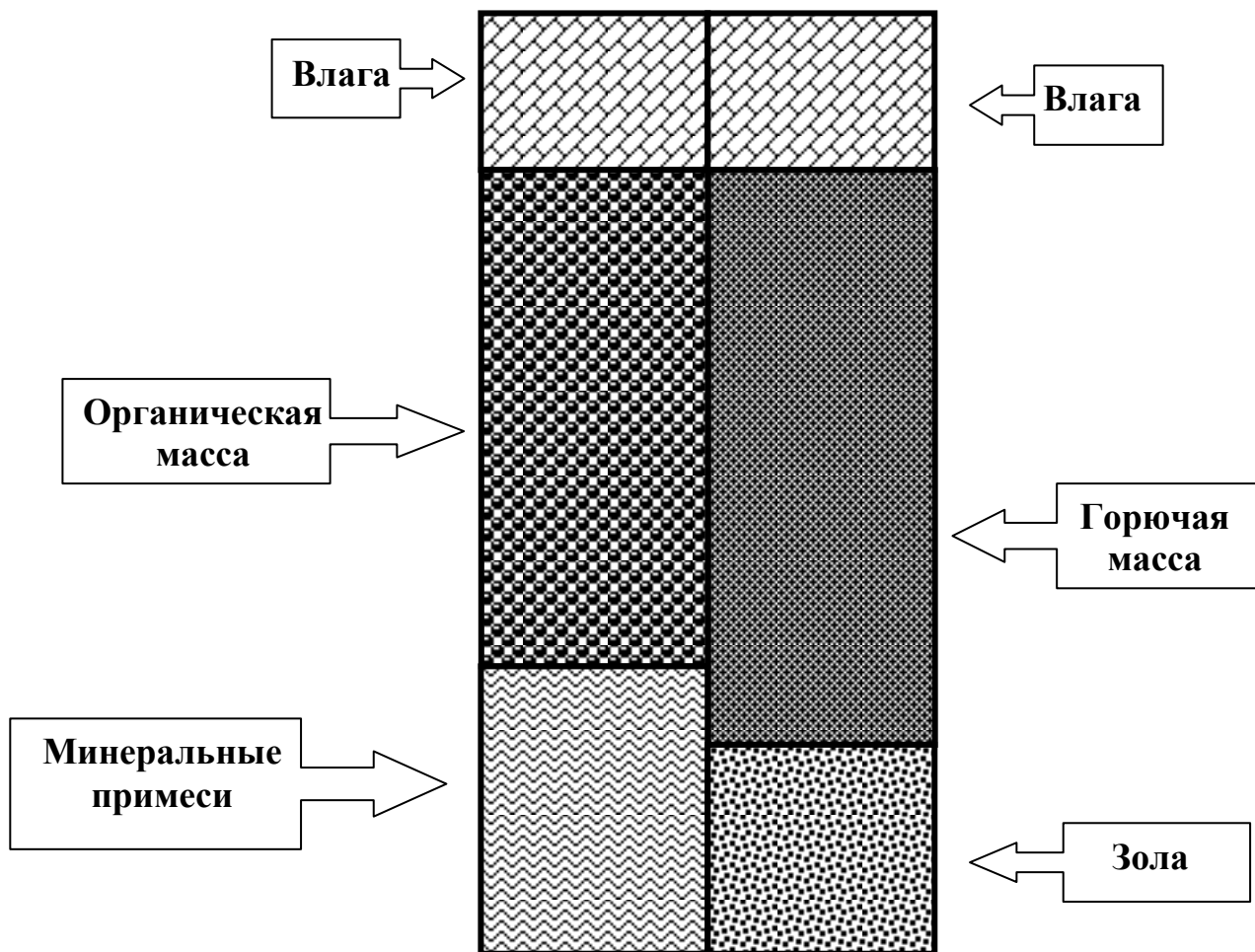


Рис. 1. Соотношение органической и горючей массы в угле

Влага. Содержащаяся в углях влага снижает теплоту сгорания топлива и экономическую эффективность его использования. По классификации академика П. А. Ребиндера, в углях различают следующие виды влаги: химически связанную, которая не удаляется даже при термической сушке; гигроскопическую, удерживаемую силами адсорбции – может быть удалена при термической сушке; капиллярную и свободную (внешнюю), удаляемые методами механического и термического обезвоживания. Наиболее нежелательной в угле считается внешняя влага, которая механически удерживается на поверхности его частиц. Содержание внешней влаги возрастает пропорционально суммарной открытой поверхности всех частиц угля, находящихся в единице объема или массы.

Чем меньше размер всех частиц угля, тем больше их открытая поверхность на единицу массы или объема, следовательно, тем больше воды им удерживается. Внешняя влага оказывает отрица-

тельное влияние на сыпучесть и смерзаемость топлива при низких температурах. При повышении содержания внешней влаги ухудшаются условия и результаты рассортировки углей по крупности, снижается тепловой эффект их сжигания. Количество влаги в углях удорожает стоимость транспортировки, осложняет технологию подготовки к использованию и процессы переработки.

Общая влага в расчетах на рабочее состояние угля W_i^r – один из основных показателей его качества. Массовая доля ее снижается с повышением степени метаморфизма углей от 60 % и более в мягких бурых углях, от 40 до 17 % в плотных бурых от 16 до 3–5 % в каменных; в антрацитах колеблется в пределах 4–6 % [1].

Влажность продуктов мокрого обогащения обычно выше влажности исходного угля, поступающего в обогащение. Петрографические компоненты по-разному взаимодействуют с влагой; наибольшей влажностью отличаются витреновые и наименьшей – фюзеновые ингредиенты. Содержание влаги в углях определяют согласно ГОСТу 27314–91.

Минеральные примеси. Основная масса минеральных примесей попадает в уголь из прослойков пластов и боковых пород (внешняя зола). Часть минеральных примесей вошла в угольное вещество в процессе углеобразования и составляет его материнскую (внутреннюю) зольность. При механических способах обогащения удаляются лишь минеральные примеси, попавшие в процессе добычи из вмещающих пород и породных прослойков угольных пластов.

В состав минеральных примесей входят силикаты, алюмосиликаты, соли серной, соляной, угольной и других кислот с железом, кальцием, магнием, натрием, калием и др. При сжигании угля одна часть минеральных примесей переходит в золу, другая – разлагается: из известняка выделяется углекислый газ, колчедан переходит в окись железа и серы, а последняя выделяется в газообразном состоянии. Поэтому зольность угля не полностью характеризует содержание в нем минеральных примесей. Обычно зольность углей на 8–12 % ниже содержания минеральных примесей [4].

Минеральные примеси – балласт, так как снижают теплоту сгорания, требуют дополнительных затрат на транспортировку к потребителю и на золоудаление после сжигания. Исключение составляют минеральные примеси некоторых углей, содержащих редкие элементы (германий, рений, галлий и др.) или полезные для

технологии компоненты, например, соединения железа, кальция и магния в углях, используемых для коксования и последующей выплавки чугуна.

Зольность – основной показатель качества, определяющий его потребительскую и товарную ценность, есть отношение (в процентах) массы неорганического остатка (зола), получаемый после полного сгорания угля, к единице массы исследованной пробы угля. Зольность косвенно характеризует содержание в угле минеральных примесей. В практике используются величины зольности, рассчитанные на сухое (A^d), реже на рабочее (A^r) состояние угля. Определение зольности в лаборатории производится согласно ГОСТу 11022–90.

Для потребителей в ряде случаев важны состав и свойства золы. По составу золы подразделяются на кремнистые (с содержанием SiO_2 40–70 %), глиноземные (Al_2O_3 30–50 %), железистые ($\text{Fe}_2\text{O}_3 > 20$ %), известковые (CaO 20–40 %). Пределы колебаний содержания в золах основных компонентов приведены в табл. 3 [1].

Неокисленным каменным углям более свойственен алюмосиликатный состав зол. При коксовании золообразующие элементы переходят в кокс, что вызывает необходимость введения при повышенной зольности углей дополнительного количества флюсов. Исключения составляют оксиды железа, а также магния и кальция, которые частично восполняют в доменном процессе роль (соответственно) руды и флюсов.

Таблица 3

Основные компоненты зол углей

Тип золы	Пределы колебаний, %			
	Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	CaO
Кремнистые	8–30	40–70	До 20	До 20
Глиноземные	30–45	40–55	До 20	До 20
Железистые	10–20	30–55	20	До 20
Известковые	5–20	15–40	5–20	20–40

Температура плавления золы имеет большое значение при энергетическом использовании углей. В пылеугольных топках с жидким шлакоудалением легкоплавкость золы – положительный фактор, а при слоевом пылевидном сжиганиях (с сухим шлакоуда-

лением) – отрицательный, так как приводит к зашлаковке топок и поверхности нагрева.

Сера, содержащаяся в углях, состоит из трех отдельных ее разновидностей: колчеданной или пиритной, сульфатной и органической. Соотношение этих разновидностей в общем содержании серы в угле различно и зависит от условий образования каждого отдельного угольного пласта и месторождения.

Колчеданная сера содержится в угле в виде отдельных зерен минералов пирита или марказита от мельчайших частиц (долей миллиметров) до кусков массой в несколько килограммов. Иногда пирит может присутствовать в виде пропластков и линз. Марказит отличается от пирита формой и размерами отдельных кристаллов. Химическая формула пирита и марказита – FeS_2 . При выветривании в забоях шахт и карьеров колчедан окисляется и образуется сульфатная сера.

Сульфатная сера содержится в углях в виде сульфатов железа и кальция. Содержание этой серы обычно небольшое и за редким исключением превышает 0,15–0,20 %. Сульфатная сера не горит, поэтому при сжигании угля большая часть ее переходит в золу, а при коксовании – в кокс.

Органическая сера связана химически с элементами угольного вещества. Содержание этой серы в угольном пласте является обычно величиной постоянной. Органическая сера входила в состав растений, из которых образовалось вещество угля, поэтому ее называют первичной; колчеданную и сульфатную разновидности серы называют вторичными.

Органическая и колчеданная сера при горении угля соединяются с кислородом воздуха и образуют диоксид серы SO_2 . Эти разновидности серы относят к сере горючей.

Содержание общей серы в углях колеблется в широких пределах – от 0,5 до 7–8 %. Кузнецкие угли, например, содержат небольшое количество серы – до 0,5 %, карагандинские – 0,5–2,5 %, а донецкие – 0,4–9,5 % [1].

При механическом обогащении удаляется из углей лишь часть колчеданной серы, полное удаление ее почти невозможно.

Сера является одной из наиболее вредных минеральных примесей в углях, используемых для технологических целей. Присутствие серы в коксе отрицательно влияет на ведение доменного про-

цесса, его экономику и качество вырабатываемой продукции. Повышение содержания серы на 0,1 % в коксе увеличивает его расход и расход флюсов при производстве чугуна на 2–2,5 % [5]. При этом снижается производительность и коэффициент использования полезного объема доменной печи. Попадая из металлургического кокса в металлы, сера значительно ухудшает их качество.

Сера в энергетических углях – также вредная примесь. Сжигание высокосернистых энергетических углей в топках вызывает коррозию оборудования, преждевременное изнашивание и снижение надежности работы отдельных узлов и деталей. Сернистый ангидрид, уходя с дымовыми газами, вызывает загрязнение атмосферы, уничтожает растительность и живые организмы.

Содержание общей серы – один из основных показателей качества углей, определяется согласно ГОСТ 8606–93.

Следует отметить, что определение содержания в органической части угля элементов углерода, водорода, кислорода, азота и органической серы происходит путем элементного анализа. Эти показатели используются для предварительного расчета некоторых показателей качества угля: теплоты сгорания, теоретической температуры сгорания, выхода и состава продуктов сжигания, термического разложения. Определение основных показателей качества угля, предусмотренными стандартами для всех видов использования, (влажности, зольности, содержания общей серы, выхода летучих и теплоты сгорания) происходит в результате технического анализа.

Гранулометрический состав – количественная характеристика угля по линейным размерам кусков – нормируется для всех направлений использования.

Для определения гранулометрического состава сыпучего материала используют различные методы. Наиболее распространенный – ситовой анализ, который заключается в рассеивании пробы угля на стандартных ситах в соответствии с ГОСТ 2093–82. Гранулометрический состав углей зависит от механической прочности углей и от способа их добычи.

Разделение угля как товарного продукта на классы крупности (табл. 4) [6], производится путем его сортировки (грохочения) на ситах с отверстиями соответствующих размеров. В скобках указаны допустимые изменения размеров кусков в классах. Верхний предел

300 мм в классе плитных углей и рядовом угле распространяется только на предприятия с открытым способом добычи.

Таблица 4

Классификация углей бурых, каменных и антрацитов
по размеру кусков

Наименование класса	Условное обозначение	Размер кусков, мм
Плитный	П	100–200 (300)
Крупный	К	50–100
Орех	О	25–50
Мелкий	М	13–25
Семечко	С	6–13
Штыб	Ш	0–6
Рядовой	Р	0–200 (300)

Допускаются классы с заменой соответственно верхнего и нижнего пределов крупности 100 мм на 80 мм, 50 мм на 40 мм, 25 мм на 20 мм, 13 мм на 10 мм и 6 мм на 5 (8) мм, а также совмещенные классы ПК, КО, ОМ, МС при условии соотношения между нижним и верхним пределом не более 1:4 и классы ОМСШ, МСШ и СШ.

Угли классов с нижним пределом крупности кусков более нуля относятся к сортовым, а с нижним пределом, равным нулю, – к отсевам. Содержащиеся в том или ином классе угля куски с размерами ниже установленного нижнего предела, а также размером менее 6 мм в рядовом угле называется мелочью.

Определенные классы углей по размеру кусков и содержанию в них мелочи и кусков с размерами более верхнего предела должны устанавливаться стандартами технических требований по видам потребления.

Примеры условных обозначений классов по размеру кусков с указанием марки угля:

ГР (0–200) – газовый, рядовой, класса 0–200 мм;

АК (50–100) – антрацит, крупный, класса 50–100 мм;

ГМСШ (0–25) – газовый, мелкий с семечком и штыбом, класса 0–25 мм.

Буквы означают марку угля и обозначение класса, а цифры в скобках – нижний и верхний пределы крупности.

Классы, не предусмотренные ГОСТ 19242–73, допускаются в случаях специального назначения углей и антрацита в соответствии с установленными на них стандартами.

Механическая прочность – способность угля сохранять размеры кусков при ударах и истирании. Изучается для углей, предназначенных к использованию для газификации, получения термоантрацитов, в электродном и литейном производствах, а также для сжигания в топках судов речного флота. Определяется путем разрушения углей во вращающихся (большом или малом) барабанах в соответствии с установленными стандартом условиями. Показатель (индекс) механической прочности – остаток (в процентах) массы кусков определенной крупности от массы испытуемой пробы после испытания дробимости угля во вращающемся барабане.

Механическая прочность устанавливается также методом толчения – дробления пробы угля гирей, сбрасываемой с постоянной высоты, и последующего определения объема образующейся мелочи (размером менее 0,5 мм).

Для углей, предназначенных к сжиганию в пылевидном состоянии, определяется коэффициент размолоспособности, характеризующий сопротивляемость размолу и затраты энергии на измельчение.

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

Плотность угля. Для сыпучих и пористых тел определяют действительную, кажущуюся и насыпную плотность.

Под действительной (истинной) плотностью минерального сырья понимают отношение массы твердой фазы, лишенной воздуха и свободной (несвязанной влаги), к ее объему без пор и трещин. Это свойство имеет большое практическое значение при обогащении полезных ископаемых, где различие в действительной плотности часто используют для разделения минералов. В большинстве случаев действительную плотность используют при определении других параметров (пористости, измельчаемости, удельной площади поверхности) и инженерных расчетах. Для определения действительной плотности используют пикнометрический метод,

основанный на измерении массы пикнометра, наполненного жидкостью, при замене части этой жидкости навеской определяемого материала.

Плотностью органической массы углей называется действительная плотность, пересчитанная на сухое беззольное состояние. Она зависит от петрографического состава и стадии метаморфизма углей. Так, плотность органической массы каменных углей возрастает от длиннопламенных к тощим и антрациту (от 1200 до 1600 кг/м³). Плотность минеральных составляющих колеблется в пределах 1800–5000 кг/м³ [3].

Многочисленными исследованиями установлена тесная корреляционная связь между плотностью углей и их зольностью. Для углей любой стадии метаморфизма характерно увеличение плотности при увеличении зольности.

Кажущаяся плотность – это масса единицы объема пористого (натурального) тела. Кажущаяся плотность всегда меньше действительной за счет пор и трещин. Для каменных углей она изменяется в широких пределах 1200–1350 кг/м³ [1], а из петрографических составляющих самой высокой кажущейся плотностью обладает фюзенит. Кажущаяся плотность определяется взвешиванием в воде и в воздухе (запарафинированных), покрытых влагонепроницаемой пленкой, кусков угля и является одним из основных параметров подсчета запасов угля в недрах и учета размеров его добычи.

Под насыпной плотностью сыпучего продукта понимают его массу в единице объема, включая промежутки между отдельными зернами и порами. Она зависит от действительной плотности, гранулометрического состава, степени его уплотнения, влажности, размера и формы кусков и колеблется от 480 до 750 кг/м³ [1]. Насыпную плотность используют при определении объема, занимаемого сырьем, в инженерных расчетах бункеров и емкостей для его хранения и перевозки, давления сырья на стенки емкостей, вагонов и т. д.

Термическая стойкость – механическая прочность угля в кусках после термической обработки – изучается для углей, предназначенных для сжигания в топках транспортных средств, полукоксования, гидрирования и получения линейных электродных термоантрацитов. Устанавливается путем нагревания пробы угля (антрацита) в муфеле при температуре 900±25 °С, испытания в барабане на

дробимость и последующего определения содержания классов по крупности кусков. Показатель (индекс) термической стойкости – выход класса более 13 мм в процентах от массы пробы.

Электрические свойства. На низких стадиях метаморфизма угли можно сравнить с диэлектриками, на средних – с полупроводниками, на высоких (антрациты) – с проводниками. Нормируемый показатель – удельное электрическое сопротивление. Этот показатель нормируется для антрацитов, используемых в производстве термоантрацита [7].

Электрическое сопротивление углей сильно зависит от влажности, температуры, химического состава и наличия минеральных компонентов.

Пористость углей и удельная поверхность влияют на диффузионные, сорбционные, фильтрационные и химические свойства углей в процессах, протекающих в пластах их залежей, при хранении, транспортировании и различных видах переработки. Эти свойства определяют механическую прочность, газопроницаемость и др. С другой стороны, на поверхность заметно влияют термические и механические воздействия.

Размер пор изменяется в широких пределах – от $3 \cdot 10^{-10}$ до 10^{-2} м [1]. Измерение параметров пор является сложной задачей, так как угли весьма чувствительны к сушке, дегазации и другим воздействиям, они термически нестабильны, содержат летучие вещества, вспучиваются и т. д.

Размер пор углей и их удельные поверхности устанавливаются методом заполнения пор жидкостями или путем сорбции газов, с помощью оптической и электронной микроскопии и методом рентгено-структурного анализа.

Установлено, что пористость и удельная поверхность в значительной степени зависят от степени метаморфизма углей, причем минимум микро- и переходных пор приходится на средние стадии метаморфизма. Кроме того, объем макропор снижается от бурых углей к антрацитам.

Влагоемкость углей – свойство поглощать влагу. Это важный показатель, особенно для характеристики размокаемости вмещающих пород. Поскольку процессы обогащения углей в основном осуществляются в водной среде, их размокаемость обуславливает шламообразование, чистоту оборотной воды и другие параметры

технологического процесса. Максимальную влагоемкость W_{\max} бурых углей определяют по ГОСТу 8858–93.

Магнитные свойства углей. Различия в магнитных свойствах угольного вещества и минеральных примесей позволяет использовать магнитный метод для обогащения угля. Особенно следует считать перспективным магнитное обессеривание углей удалением пирита.

Смачиваемость углей, показатель, на котором основан флотационный метод обогащения углей. Смачиваемость определяется краевым углом смачивания Θ , изменяющимся от 0 до 180°. Меньшие значения краевых углов имеют хорошо смачиваемые водой (гидрофильные) поверхности частиц, $\Theta = 0-90^\circ$. Наоборот, частицы, поверхность которых слабо удерживают воду, например уголь, являются гидрофобными, $\Theta > 90^\circ$.

Коэффициент трения углей. Один из важных расчетных показателей при определении наклона желобов и других транспортных устройств для рядовых углей и продуктов обогащения.

Оптические свойства углей (цвет, блеск, отражательная способность) определяются молекулярной структурой органического вещества и закономерно изменяются в зависимости от изменения этой структуры на разных стадиях метаморфизма. Разные микрокомпоненты углей имеют различную отражательную способность, возрастающую от липтинита к инертиниту, что позволяет использовать этот параметр, как один из контролируемых показателей качества угля:

$$R_o = \frac{I_o}{I_{\Pi}} 100,$$

где R_o – отражательная способность, %; I_o – интенсивность отраженного света; I_{Π} – интенсивность падающего света.

Оптические свойства могут быть использованы при разработке специальных методов обогащения, в частности, для разделения блестящих (группы витринита) и матовых (группы инертинита) микрокомпонентов. А также для выделения из крупнокускового блестящего угля пустой породы.

Содержание фосфора в углях обычно не превышает 0,05 %. Массовая доля его лимитируется лишь в углях, направляемых для получения специальных сортов доменного кокса (не более 0,012 %), а также в антрацитах, используемых при производстве карбида

кальция (до 0,05 %). Определение содержания фосфора обычно производится при химическом анализе золы углей.

Выход летучих веществ. При нагревании угля без доступа воздуха органическая его масса разлагается с образованием газо- и парообразных продуктов (летучие вещества) и твердого нелетучего остатка. Масса (или объем) летучих продуктов, выражаемая в процентном отношении к единице массы испытуемого угля в определенных стандартом условиях (температура нагрева $t = 850 \pm 10$ °С в течение 7 мин.), называется выходом летучих веществ (V).

Состав летучих продуктов: первичный деготь (из бурых углей) или каменноугольная смола (из каменных), газы – CO , CO_2 , H_2 , CH_4 , легкие углеводороды и их производные, вода. Выход летучих веществ и различных компонентов зависит от петрографического состава углей, степени восстановленности органического вещества, а также доли и состава минеральной части. Разложение (при нагреве) карбонатов, сульфидов, гидратированных минералов сопровождается дополнительным образованием сернистых газов, углекислоты и воды, входящих в общую массу летучих продуктов и искажающих результаты деструкции органического вещества углей. Поэтому определения производятся на пробах угля с зольностью не более 10 %; при большей зольности пробы угля должны подвергаться предварительному обогащению.

Выход летучих веществ в пересчете на сухое беззольное состояние V^{daf} используется как один из основных показателей качества каменных углей. Для антрацитов с $V^{daf} < 9$ % в качестве классификационного параметра используется объемный выход летучих веществ V_v^{daf} , определяемый по их объему (см^3), выделяемому из навески – угля в 1 г, нагреваемой без доступа воздуха при $t = 900 \pm 10$ °С в течение 15 мин. В интервалах значений V^{daf} от 1,5 до 9 % величина V^{daf} изменяется от 60 до 320 $\text{см}^3/\text{г}$.

Чем выше степень метаморфизма, тем меньше выход летучих. Для бурых углей V^{daf} – 50–60 %; для каменных V^{daf} – 50–8 %; для антрацитов V^{daf} до 9 % (табл. 5).

Оставшийся после отгона летучих веществ нелетучий остаток угля представлен смесью продуктов разложения органического вещества (нелетучего углерода) и золы, образовавшейся из минеральных примесей.

По внешнему виду и прочности установлена шкала нелетучих остатков (корольков), которая используется для предварительной оценки стадии метаморфизма и спекаемости углей.

Теплота сгорания угля – важнейшая характеристика, используемая для сопоставления теплотехнических свойств углей различных месторождений, марок между собой и с другими видами топлива, а также как классификационный показатель слабометаморфизованных и окисленных углей.

Определение теплоты сгорания производится замером количества тепла, выделяемого единицей массы угля при полном сгорании его в калориметрической бомбе в среде сжатого кислорода в установленных стандартом условиях. Полученная при этом величина включает тепло, выделяющееся за счет образования и растворения в воде азотной и серной кислот, а также испарения воды, выделившейся и образованной из угля во время сгорания. Это тепло в практических условиях не используется. Соответствующими пересчетами величины теплоты сгорания, определенной по бомбе, получают значения высшей теплоты сгорания Q_s с исключением тепла, полученного за счет кислотообразования, и низшей теплоты сгорания Q_i с дополнительным исключением тепла, полученного за счет испарения воды.

Высшая теплота сгорания, пересчитанная на сухое беззольное состояние угля Q_s^{daf} , характеризует природный тип угля, степень его углефикации, вещественный состав. Низшая теплота сгорания рабочей массы угля Q_i^r выражает количество тепла, которое с учетом балласта (влаги и золы) может быть практически реализовано при сжигании. Величина ее определяется пересчетом по формуле [3]:

$$Q_i^r = Q_s^r - \gamma (W_t^r + 8,94 H^r),$$

где Q_s^r – высшая теплота сгорания; W_t^r – массовая доля общей влаги; H^r – содержание водорода, рассчитанное на рабочее состояние угля; γ – коэффициент, учитывающий тепло, выделившееся за счет испарения воды (5,86 – при выражении результатов определения в килокалориях на килограмм (ккал/кг); 24,62 – при выражении результатов определения в килоджоулях на килограмм (кДж/кг)).

Для сравнения теплового эффекта от сжигания разных видов топлива и углей различного качества используется понятие об условном топливе. За условное принимается топливо с низшей теплотой сгорания 29,4 МДж/кг (7000 ккал/кг). Пересчет натурального

топлива в условное производится умножением его массы на калорийный эквивалент \mathcal{E}_k (отношение низшей теплоты сгорания к низшей теплоте сгорания условного топлива). Для сравнения потребительской ценности топлива используется технический эквивалент \mathcal{E}_T , который учитывает не только теплоту сгорания топлива, но и условия его сжигания. Он подсчитывается по формуле

$$\mathcal{E}_T = Q_i^r \cdot \eta_k / 29,4,$$

где Q_i^r – низшая теплота сгорания рабочего топлива; η_k – коэффициент полезного действия котла.

Числовое значение технического эквивалента меньше, чем значение калорийного эквивалента для одного и того же топлива.

Усредненные величины теплоты сгорания и некоторых других показателей качества углей различной стадии метаморфизма приведены в табл. 5 [3].

Таблица 5

Усредненные значения теплоты сгорания угля и некоторых других показателей качества угля различной степени метаморфизма

Марки углей	Стадии метаморфизма	C^{daf} , %	W_i^r , %	V^{daf} , %	Q_s^{daf} , МДж/кг	Q_i^r , МДж/кг
Бурый 1Б	0 ₁	63–71	40–58	50–60	25,53–28,88	6,07–13,81
2Б	0 ₂	65–76	30–40	33–50	25,53–29,72	9,04–15,90
3Б	0 ₃	68–77	17–30	33–50	27,63–33,07	19,49–18,83
Каменные:						
Длиннопламенный Д	I	74–80	8–16	35–50	30,56–33,49	21,98–24,91
Газовые Г	II	79–83	6–10	33–46	32,23–34,74	23,44–25,9
Газовый жирный ГЖ	II–III		5–8	31–40	33,49–35,16	24,70–26,37
Жирный Ж	III	83–87	4–7	25–37	34,53–35,79	25,33–26,58
Коксовый жирный КЖ	III–IV		4–6	13–33	34,74–36,00	25,95–27,21
Коксовый К	IV	87–90	4–5	17–27	34,74–36,84	26,37–28,47
Отощенный спекающийся ОС	V	89–91	3–5	14–27	35,37–36,63	26,58–27,84
Тощий Т	VI	90–92	3–6	8–20	34,53–36,21	25,95–27,63
Антрацит А	VII–VIII	89–98	4–6	1–10	33,49–35,16	23,86–31,00

Спекаемость – способность мелкоизмельченного угля переходить при нагревании без доступа воздуха в пластическое состояние с образованием связанного нелетучего остатка. Свойство угля спекать инертный материал с образованием такого остатка называется спекающей способностью. При нагреве углей определенного петро-

графического состава и степени углефикации выше 300 °С без доступа воздуха из них выделяются паро-газовые и жидкие продукты. Часть этих продуктов удаляется из зоны реакции, оставшаяся – образует совместно с твердыми продуктами пластическую или вязкотекучую массу.

При температуре 500–550 °С эта масса затвердевает, образуется спекшийся твердый остаток – *полукокс*. При дальнейшем увеличении температуры (до 1000 °С и более) в полукоксе снижается содержание кислорода, водорода и серы, последовательно возрастает содержание углерода, происходит структурно-молекулярная перестройка органического вещества с упорядочением расположения углеродных слоев. Полукокс переходит в твердый углеродистый продукт – *кокс*.

Спекаемостью обладают каменные угли II–V стадий метаморфизма определенного петрографического состава. Носители спекаемости – мацералы групп витринита и липтиита, в небольшой степени размягчаются мацералы группы семивитринита. Каменные угли I и VI стадий метаморфизма в зависимости от петрографического состава дают порошкообразный или слабоспекшийся нелетучий остаток. Бурые угли и антрациты спекаемостью не обладают.

Спекаемость угля – основа переработки его для получения кокса. В некоторых процессах переработки и использования угля (газификация, получение синтетического топлива, производство адсорбентов и др.) она является отрицательным фактором и поэтому изучается для всех каменных углей.

Для ориентировочной оценки спекаемости используется характер нелетучего остатка (королька), получаемого из угля после отгона летучих веществ. Детальное изучение спекаемости производится пластометрическим методом Л. М. Сапожникова (ГОСТ 1186–87), а также определением ряда показателей другими методами. Метод заключается в испытании угля в пластометрическом аппарате, в котором создаются условия, сходные с условиями промышленного коксования.

По результатам испытаний определяются: толщина пластического слоя y (мм) – максимальное расстояние между поверхностями раздела уголь – пластическая масса – полукокс; пластометрическая усадка x (мм) – конечное изменение высоты угольной загрузки при

испытании, определяемое по разности конечного и начального (нулевая линия) положения пластометрической кривой.

Толщина пластического слоя хорошо характеризует спекаемость угля при среднем и умеренно высоком ее проявлении. В углях с низкой спекаемостью точность измерений y не обеспечивается и при величине менее 6 мм ее не определяют.

Индекс Рога RI определяется по прочности нелетучего остатка, получаемого при быстром нагревании смеси угля с инертным материалом. Используется для характеристики углей с низкой спекаемостью, в частности для подразделения углей с толщиной пластического слоя менее 6 мм. Величины RI антрацитов имеют нулевые или близкие к нулю значения, длиннопламенные и тощие угли – 5–20, газовые и отощенные спекающиеся – 20–45. Угли с высокой спекаемостью этим методом мало или совсем неразличимы; при толщине пластического слоя около 20 мм и более 30 мм они могут иметь одинаковые значения RI – около 80.

Индекс свободного вспучивания SI – один из параметров спекаемости, принятых в международной классификации каменных углей. Определяется путем сравнения профиля нелетучего остатка (королька), полученного при нагревании в тигле угля массой 1 г до температуры 850 ± 5 °С, со стандартными нумерованными профилями корольков (рис. 2). Номер стандартного королька наиболее соответствующий среднему из пяти определений профилю королька, полученному из испытуемого угля, обозначает показатель (индекс) вспучивания, результативен при величине y менее 10 мм.

Температура воспламенения является одним из важнейших свойств топлива. Если горючее вещество (топливо) соприкасается с кислородом и при этом возникает химическая реакция, топливо окисляется. Окисление продолжается до момента воспламенения, после чего наступает интенсивная форма окисления – горение. Температура, при которой окисление горючего вещества переходит в горение, называется температурой воспламенения. Она является наименьшей температурой, при которой возможно горение топлива в топке; она зависит от физических и химических свойств топлива, а также от внешних факторов, оказывающих влияние на повышение или понижение температуры воспламенения. Поэтому температура воспламенения каждого отдельного топлива не является постоянной и может колебаться.

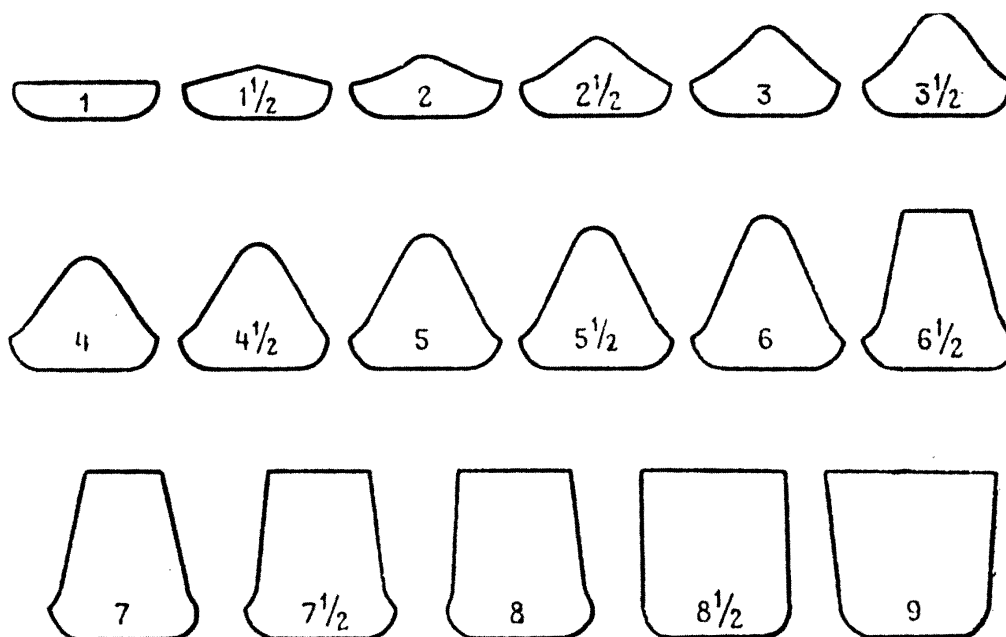


Рис. 2. Шкала стандартных корольков для определения индекса свободного вспучивания SI

Для углей принято считать примерно следующую среднюю температуру, при которой может произойти их воспламенение: бурый уголь 250–450 °С; каменный уголь с выходом летучих в горючей массе более 20 % – 300–350 °С; каменный уголь с выходом летучих менее 20 % – 500 °С; тощий уголь, антрацит 650–800 °С.

1.3. Классификация углей по генетическим и технологическим параметрам

Уголь, как природное вещество, обладает разнообразием свойств. Кроме того, ископаемые угли обладают разнообразием их практического использования в технике и промышленности. Рациональное использование углей возможно при наличии классификации, учитывающей весь комплекс физико-химических свойств.

Для построения классификации выбирают параметры, которые позволяли бы комплексно оценивать ископаемые угли для ведущих направлений переработки: энергетического и технологического. Такими параметрами в России обычно принимаются: удельная теплота сгорания, выход летучих веществ, спекаемость, влажность и выход смол – для бурых углей.

Существовали различные классификации углей и особенно долго использовались бассейновые [1], но они не отражали петрографического состава углей, степени их окисленности, что не позволяло использовать эти классификации для оценки важнейших качественных характеристик и затрудняло решение одной из основных практических задач: взаимозаменяемости углей различных бассейнов и месторождений в технологических процессах одного и того же направления их переработки. Поэтому в 1988 г. была создана и введена с 01.01.1990 в действие классификация неокисленных ископаемых углей [8]. Она представляет собой единую систему кодирования бурых, каменных углей и антрацитов, дает комплексную оценку их генетических и технологических характеристик и является основной для добычи и рационального использования углей и антрацитов.

Согласно классификации ископаемые угли в зависимости от среднего показателя отражения витринита R_o , удельной теплоты сгорания на влажное беззольное состояние Q_s^{af} и выхода летучих веществ на сухое беззольное состояние V^{daf} подразделяются на виды: бурые, каменные и антрациты, табл. 6 [8].

Таблица 6

Подразделение углей на виды

Вид угля	Средний показатель отражения витринита R_o , %	Теплота сгорания на влажное беззольное состояние Q_s^{af} , МДж/кг	Выход летучих веществ на сухое беззольное состояние V^{daf} , %
Бурый	Менее 0,60	Менее 24 (5700 ккал/кг)	–
Каменный	От 0,4 до 2,59 включительно	24 и более	8 и более
Антрацит	От 2,20 и более	–	Менее 8

Ниже приводятся генетические параметры.

Класс угля. Угли бурые, каменные и антрациты в зависимости от генетических особенностей делятся на: классы – по среднему показателю отражения витринита, R_o (табл. 7). Номер класса соответствует минимальному значению R_o оцениваемых углей, умноженному на 10. По этому показателю выделено 50 классов углей: пять – бурых углей (классы 02–05), 22 – каменных (классы 04–25), 29 – антрацитов (классы 22–50).

Определение класса углей

Класс	Показатель отражения витринита R_o , %	Класс	Показатель отражения витринита R_o , %
02	От 0,20 до 0,29 включ.	26	2,60 – 2,69
03	0,30–0,39	27	2,70–2,79
04	0,40–0,49	28	2,80–2,89
05	0,50–0,59	29	2,90–2,89
06	0,60–0,69	30	3,00–3,09
07	0,70–0,79	31	3,10–3,19
08	0,80–0,89	32	3,20–2,29
09	0,90–0,99	33	3,30–3,39
10	1,00–1,09	34	3,40–3,49
11	1,10–1,19	35	3,50–3,59
12	1,20–1,29	36	3,60–3,69
13	1,30–1,39	37	3,70–3,79
14	1,40–1,49	38	3,80–3,89
15	1,50–1,59	39	3,90–3,99
16	1,60–1,69	40	4,00–4,09
17	1,70–1,79	41	4,10–4,19
18	1,80–1,89	42	4,20–4,29
19	1,90–1,99	43	4,30–4,39
20	2,00–2,09	44	4,40–4,49
21	2,10–2,19	45	4,50–4,59
22	2,20–2,29	46	4,60–4,69
23	От 2,30 до 2,39 включ.	47	4,70–4,79
24	2,40–2,49	48	4,80–4,89
25	2,50–2,59	49	4,90–4,99
		50	5,00 и более

Категория характеризует петрографический состав углей по содержанию фюзенизированных компонентов ΣOK (табл. 8). Номер категории соответствует минимальному значению ΣOK , деленного на 10.

Тип угля определяется по максимальной влагоемкости на беззольное состояние W_{max}^{af} для бурых углей, выходу летучих веществ для каменных углей и объемному выходу летучих веществ на сухое беззольное состояние V_v^{daf} для антрацитов (табл. 9). Номер типа соответствует минимальным значениям: W_{max}^{af} бурого, V_v^{daf} каменного и деленного на 10 значения V_v^{daf} антрацитов.

Таблица 8

Определение категории углей

Категория	Сумма фюзенизированных компонентов ΣOK , %	Категория	Сумма фюзенизированных компонентов ΣOK , %
0	<10	4	От 40 до 49 включ.
1	От 10 до 19 включ.	5	50–59
2	20–29	6	60–69
3	30–39	7	>69

Таблица 9

Определение типа углей

Бурые угли		Каменные угли				Антрациты	
Тип	Максимальная влагоемкость W_{\max}^{af} , %	Тип	Выход летучих веществ V^{daf} , %	Тип	Выход летучих веществ V^{daf} , %	Тип	Объемный выход летучих веществ V_v^{daf} , см ³ /г
10	< 20	48	48 и более	26	26–28	20	> 200
20	От 20 до 30	46	От 46 до 48	24	24–26	15	Св. 150 до 200 включ.
30	30–40	44	44–46	22	22–24	10	От 100 до 150 включ.
40	40–50	42	42–44	20	20–22	05	<100
50	50–60	40	40–42	18	18–20		
60	60–70	38	38–40	16	16–18		
		36	36–38	14	14–16		
		34	34–36	12	12–14		
		32	32–34	10	10–12		
		30	30–32	08	08–10		
		28	28–30				

Подтип угля определяется по выходу смолы полукоксования на сухое беззольное состояние T_{SK}^{daf} для бурых углей, толщине пластического слоя y и индексу рога RI для каменных углей, анизотропии отражения витринита A_R для антрацитов (табл.10). Номер подтипа соответствует минимальным значениям величины указанных показателей в исследуемом угле.

По совокупности генетических параметров каждый уголь обозначается семизначным кодовым числом, в котором первые две цифры указывают номер класса, третья – номер категории, четвертая и пятая – номер типа, шестая и седьмая – номер подтипа.

Определение подтипа углей

Бурые угли		Каменные угли						Антрациты	
Подтип	Выход смолы полукоксования $T_{СК}$, %	Подтип	Толщина пластического слоя $У$, мм	Индекс Рога R_I , усл. ед.	Подтип	Толщина пластического слоя $У$, мм	Индекс Рога R_I , усл. ед.	Подтип	Анизотропия отражения витринита A_R , %
20	>20	26	-	-	14	14	-	20	<30
15	Свыше 25 до 20 вкл.	25	25	-	13	13	-	30	От 30 до 40 вкл.
10	Свыше 10 до 15 вкл.	24	24	-	12	12	-	40	40–50
05	10 и менее	23	23	-	11	11	-	50	50–60
		22	22	-	10	10	-	60	60–70
		21	21	-	09	9	-		>70
		20	20	-	08	8	-		
		19	19	-	07	7	-		
		18	18	-	06	6	-		
		17	17	-	01	<6	13 и >		
		16	16	-	00	<6	<13		
		15	15						

Так, кодовый номер 1123219 будет иметь каменный уголь любого бассейна (месторождения) с показателем отражения витринита R_o – 1,10–1,19 %, содержанием фюзенизированных компонентов $\Sigma OK = 20–29$ %, выходом летучих веществ $V^{daf} = 32–34$ % и толщиной пластического слоя 19 мм.

Технологические параметры. Угли различных кодовых номеров со сходными технологическими свойствами в основных процессах переработки объединены в технологические марки, группы и подгруппы. Всего выделено 17 марок, при этом для бурых углей и антрацитов – по одной марке (соответственно Б и А), для каменных 15 длиннопламенные (Д), длиннопламенные газовые (ДГ), газовые (Г), газовые жирные отощенные (ГЖО), газовые жирные (ГЖ), жирные (Ж), коксовые жирные (КЖ), коксовые (К), коксовые отощенные (КО), коксовые слабоспекающиеся низкометаморфизованные (КСН), коксовые слабоспекающиеся (КС), отощенные спекающиеся (ОС), тощие спекающиеся (ТС), слабоспекающиеся (СС) и тощие (Т), прил. 2.

Марки бурых, каменных (исключая Д, ДГ, КЖ, КСН и ТС) углей и антрацитов подразделяются на группы. Основные параметры для такого подразделения:

- марки Б – генетический тип (по максимальной влагоемкости);
- марок Г и Ж – генетический подтип (по различиям в спекаемости изометаморфизованных углей этих марок);
- марок ГЖО, ГЖ, К, КО, КС, ОС, СС, Т и А – генетические классы углей (по величине R_o), в меньшей мере – принадлежность углей одной и той же марки к различным типам (по V^{daf} каменных и V_v^{daf} антрацитов).

Наименование группы предшествует названию марки: первый бурый, второй газовый и т. п.; перед условным обозначением марки ставится номер группы (1Б, 2Г и т. п.).

Объединение углей одних и тех же марок и групп в подгруппы производится по характеристике петрографического состава (категории). Углям с номерами категорий 1, 2, 3-й ($\Sigma OK < 40\%$) присваивается наименование витринитовых, категорий 4-й и выше – фюзинитовых, что указывается после названия соответствующей марки (например – второй газовый витринитовый или второй газовый фюзинитовый) и отражается в условном обозначении марки и группы угля дополнением ее буквами В или Ф (например, 2ГВ или 2ГФ). Для бурых углей 1Б, каменных 2Г, ГЖ, Ж, КЖ, СС – подгруппы угля не выделяются.

Технологические марки, группа и подгруппа устанавливаются для каждого пласта по совокупности генетических параметров (приложение 1). Например, уголь, характеризующийся показателями: $R_o - 1,48\%$, $\Sigma OK - 43\%$, $V^{daf} - 18,3\%$, $y - 10$ мм, соответствующий классу 14, категории 4, типу 18, подтипу 10, относится к марке ОС, группе 1ОС, подгруппе 1ОСФ (кодированный номер 1441810). При сочетании класса, категории, типа и подтипа исследуемого угля, не соответствующего указанному в табл. 11, уголь относится к технологической марке, группе и подгруппе в соответствии только с его классом и подтипом.

Смешение углей пластов разных марок не допускается. В отдельных случаях при соответствующем обосновании и с согласия потребителя допускается смешение углей разных марок в виде одной шахтовыдачи, а также смешение углей разных марок при обо-

гащении и рассортировке. При несогласованном смешении углей при добыче и обогащении и отклонении долевого участия марок в смеси выше установленного предела отгружаемая продукция относится к более низкой по технологической ценности марке.

Марку, группу, подгруппу и код смеси устанавливают расчетом средних значений классификационных параметров на основе планового участия шахтопластов. Для установления марочной принадлежности угля шахтовыдачи определяют по каждому пласту, участку, горизонту показатели, предусмотренные в табл. 7–10. На основании полученных данных с учетом запланированного участия каждого пласта, участка, горизонта в добыче вычисляют средневзвешенные значения показателей и по таблице в приложении определяют марку, группу и подгруппу шахтовыдачи.

При совместном обогащении и рассортировке углей различных марок для продуктов переработки указывают доленое участие углей каждой марки в исходной шахте.

1.4. Международная система кодификации углей

Международная система кодификации углей была принята в апреле 1988 г. [9]. Данная система позволяет производителям, продавцам и покупателям избегать недоразумений в том, что касается качественных характеристик углей, отвечающих требованиям конкретных областей их применения.

Следует отметить, что эта система кодификации применяется в отношении всех углей различного происхождения, разного геологического возраста и различных бассейнов, а также в отношении, как рядового, так и обогащенного угля. Для целей настоящей системы кодификации граница между углями низкого, среднего и высокого рангов устанавливается по приведенным ниже параметрам. Согласно общей классификации:

– углями низкого ранга считаются угли с высшей теплотой сгорания (на влажное беззольное состояние) менее 24 МДж/кг и средним показателем отражения витринита менее 0,6 %;

– углями более высокого ранга, к которым относятся все угли среднего и высокого рангов считаются угли с высшей теплотой сгорания (на влажное беззольное состояние) равной или превышающей 24 МДж/кг. Следует отметить, что в некоторых случаях эти угли

могут иметь высшую теплоту сгорания (на влажное беззольное состояние) менее 24 МДж/кг, но при условии, что средний показатель отражения витринита равен или превышает 0,6 %.

Для характеристики углей среднего и высокого рангов используется 14-значный код, основанный на восьми параметрах угля, которые позволяют получить информацию о ранге, типе и марке угля. Например, 09001836070535, где:

– первые две цифры (09) обозначают отражательную способность витринита R_{or} (%), соответствующую нижнему пределу 0,1 %-ного диапазона значений среднего показателя отражения витринита, умноженного на 10;

– третья цифра (0) дает характеристику рефлектограммы витринита;

– четвертая и пятая цифры (01) обозначают индекс состава мацеральной группы. А именно: четвертая цифра (0) соответствует нижнему пределу 10-процентного (абсолютная величина) диапазона значений содержания инертинита (без минеральных веществ), разделенному на 10, а пятая цифра (1) обозначает верхний предел 5-процентного (абсолютная величина) диапазона значений содержания липтинита (без минеральных веществ);

– шестая цифра (8) обозначает индекс свободного вспучивания, соответствующий нижнему пределу диапазона его значений с интервалом в 1/2;

– седьмая и восьмая цифры (36) соответствует нижнему пределу 2-процентного (абсолютная величина) диапазона значений выхода летучих веществ на сухое беззольное состояние при выходе летучих веществ выше 10 % (% к массе) и однопроцентного диапазона (абсолютная величина) при выходе летучих веществ менее 10 %;

– девятая и десятая цифры (07) соответствует нижнему пределу 1-процентного (абсолютная величина) диапазона значений зольности по сухому состоянию (% к массе);

– одиннадцатая и двенадцатая цифры (05) соответствуют нижнему пределу 0,10-процентного (абсолютная величина) диапазона значений общего содержания серы на сухое состояние (% к массе), умноженному на 10;

– тринадцатая и четырнадцатая цифры (35) соответствуют нижнему пределу диапазона с интервалом 1 МДж/кг значений высшей теплоты сгорания на сухое беззольное состояние.

Значения восьми основных параметров всегда должны указываться в установленной форме и последовательности. Если один из параметров отсутствует, в соответствующую позицию кодов ставится значок «X» (при обозначении параметра одной цифрой) или «XX» (при обозначении параметра двумя цифрами).

Например, 13 0 31 8 22 07 03 XX.

С первого января 1997 г. в России введен ГОСТ 30313-95 [10], который распространяется на каменные угли (угли среднего ранга) и антрациты (угли высокого ранга) в их естественном залегании, а также на товарную угольную продукцию шахт, разрезов, обогатительных фабрик, сортировок и других предприятий и устанавливает 14-значимую кодовую систему показателей качества, отражающих генетические и основные технологические параметры и находится в полном соответствии с Международной системой кодификации углей.

Вопросы для самопроверки

- 1. Из каких петрографических составляющих складывается каменный уголь?*
- 2. Какой основной элемент в составе рядового угля?*
- 3. Дать характеристику органической и неорганической частям угля.*
- 4. Как изменяется содержание углерода в угле в зависимости от степени метаморфизма?*
- 5. Какие физические свойства характерны для каменных углей?*
- 6. Какие известны показатели коксуетости каменных углей?*
- 7. Какие технологические марки угля имеются согласно ГОСТ 25543?*
- 8. По каким параметрам угли относят к среднему или высокому рангам?*
- 9. Какое количество марок каменных углей имеется согласно технологическим параметрам ГОСТ 25543?*
- 10. Как классифицируется уголь по размеру кусков?*

2. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УГЛЕЙ

2.1. Использование углей по потребительским свойствам

Трудно найти отрасль народного хозяйства, где бы ни использовался ископаемый уголь или продукты его переработки, рис. 3 [11]. По потребительским свойствам в соответствии с ГОСТ 25543-88 уголь разделяется на два основных направления промышленного использования – энергетическое и технологическое.

Первое направление предусматривает его сжигание в различного рода топках на электростанциях, в промышленных и коммунально-бытовых котельных. Второе – технологическое направление охватывает процессы коксования, полукоксования, газификации, гидрогенизации, производство электродов, карбидов кальция и кремния, битумов и т. д.

Заметим, что структура потребления угля непрерывно меняется. Например, значительно выросло использование угля на электростанциях, коксохимических заводах, и сельском хозяйстве, а на транспорте и бытовом секторе резко снизилось. Увеличивается долевое участие угля в качестве сырьевой базы для химической промышленности. Существуют специальные методы химической переработки угля. Находят применение отходы его добычи и углеобогащения.

2.2. Технологическое использование углей

Слоевое коксование. Ведущим видом технологического использования углей является коксование. До сравнительно недавнего времени металлы выплавлялись на древесном угле. Лишь около трехсот лет назад из-за массового истребления лесов в первую очередь в Европе, для плавки стал использоваться каменный уголь. Но при горении из угля выделялись смолистые вещества, которые забивали поры между рудой и углем и препятствовали процессу горения. Чтобы удалить эти смолистые вещества, уголь нагревали без доступа воздуха при температуре 1000 °С и получали твердый остаток – кокс и ряд химических продуктов. Схема коксохимического производства в достаточной мере унифицирована во всем мире. Как правило, коксование угля осуществляется в коксовых батареях –

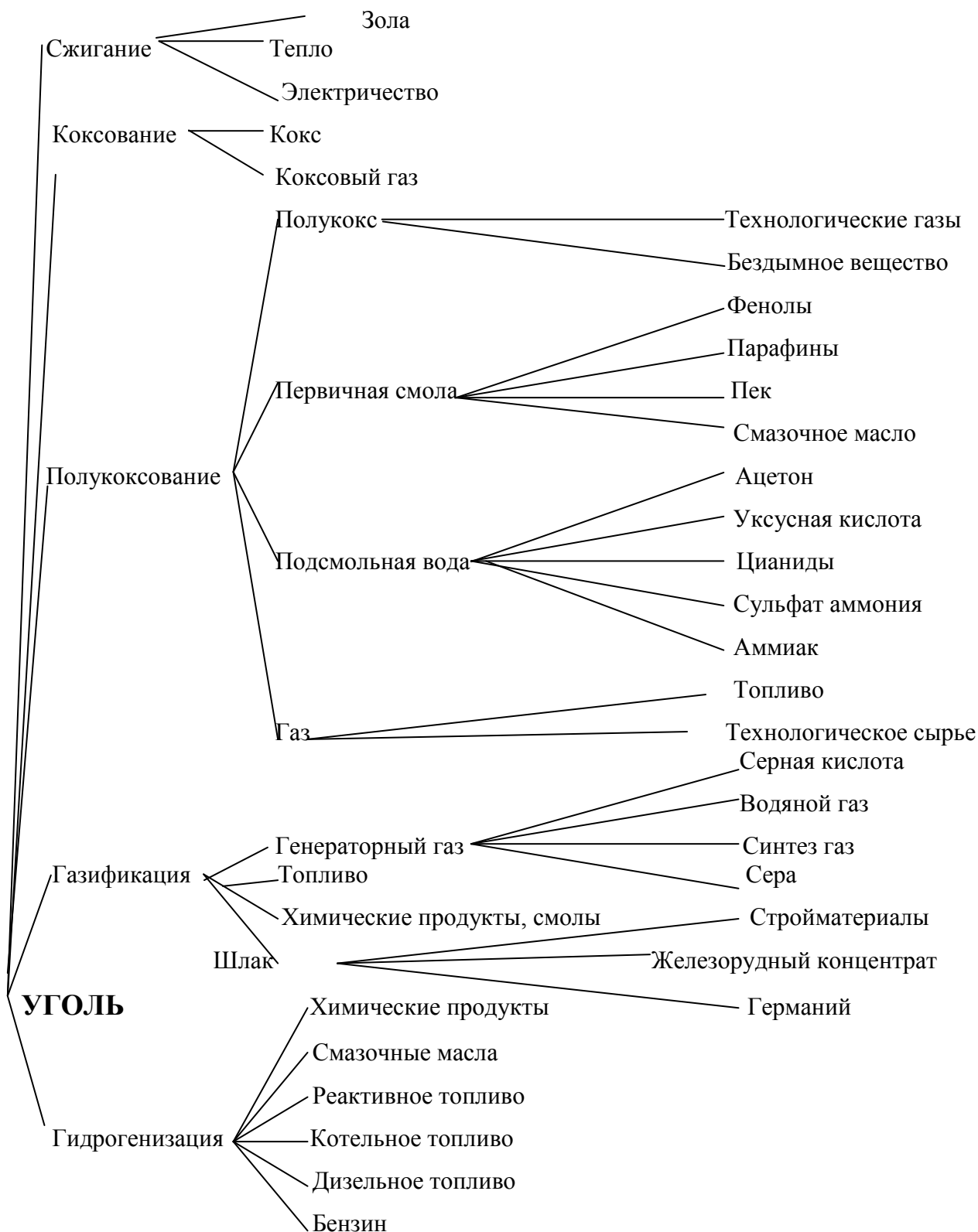


Рис. 3. Использование углей

объединенных вместе нескольких десятках коксовых печей, дающих в сутки сотни тонн кокса. Современная коксовая печь представляет собой камеру прямоугольного сечения шириной 0,5 м, высотой 3–7 м и длиной 11–17 м. Камера сложена из огнеупорного (динасового) кирпича и окружена отопительными каналами и системой улавливания химических продуктов [1].

Загруженная в печь угольная шихта нагревается в течение 15 ч. При температуре 350 °С уголь переходит в пластическое состояние, при 500 °С – твердеет, получается полукокс, а при 1000 °С – кокс.

Кроме кокса коксохимическая промышленность получает из угля несколько десятков продуктов, которые идут на производство пластмасс, красителей, удобрений и многих других веществ [11].

Каковы же функции, выполняемые коксом в доменной печи? Во-первых, это источник тепла, во-вторых, – восстановитель, так как углерод кокса отнимает кислород у окислов железа, представляющих собой природную железную руду. И, в-третьих, – это носитель газопроницаемости в домне. Для выплавки одной тонны чугуна в идеальном случае нужно 350 кг кокса, но обычно его затрачивается несколько больше. Для уменьшения расхода дорогостоящего кокса используют добавки природного газа и мазута.

Для производства кокса используют определенные марки группы и подгруппы, представленные в табл. 11. Требования к углям этого вида потребления обусловлены требованиями к металлургическому коксу, который должен быть малозольным, малосернистым, механически прочным и термически стойким. Угли, используемые непосредственно для коксования представляются в виде концентратов с углеобогажительных фабрик (УОФ).

Для угольных концентратов, поставляемых УОФ непосредственно для коксования, и для углей, поступающих на обогатительные фабрики коксохимических заводов, нормируются зольность, содержание влаги, серы, высшая теплота сгорания, толщина пластического слоя и выход летучих веществ. Основные требования к углям для коксования, регламентированных в стандарте, представлены в табл. 12 [12].

Считается общепринятым, что снижение зольности доменного кокса на 1 % уменьшает расход его на 2–2,5 % и настолько же увеличивает производительность доменных печей [12].

Таблица 11

Угли для коксования

Марка	Группа	Подгруппа
КЖ	–	–
К	1К, 2К	1КВ, 1КФ, 2КВ, 2КФ
Ж	1Ж, 2Ж	–
ГЖ	1ГЖ, 2ГЖ	–
ОС	1ОС, 2ОС	1ОСВ, 1ОСФ, 2ОСВ, 2ОСФ
ГЖО	1ГЖО, 2ГЖО	1ГЖОВ, 1ГЖОФ, 2ГЖОВ, 2ГЖОФ
КО	1КО, 2КО	1КОВ, 1КОФ, 2КОВ, 2КОФ
Г	1Г, 2Г	1ГВ, 1ГФ
КС	1КС, 2КС	1КСВ, 1КСФ, 2КСВ, 2КСФ
КСН	–	КСНВ, КСНФ
ДГ	–	ДГВ, ДГФ
ТС	–	ТСВ, ТСФ
СС	1СС, 2СС, 3СС	–

Таблица 12

Основные требования к углям для коксования

Наименования показателя	Значение показателя
Предельная зольность углей A^d , %	
– обогащенных	9,6
– необогащенных	25
Предельная массовая доля влаги W , в углях, %	
обогащенных:	
– в зимнее время	7
– в летнее время	9,5
необогащенных	9
Предельная массовая доля серы S^d в угле, %	
– обогащенных	1
– необогащенных	1
Предельная массовая доля минеральных примесей в рядовых углях, %	1,5–2,5

Одной из наиболее вредных минеральных примесей, приводящей к ухудшению качества стали является сера, поэтому ее содержание в углях для коксования строго нормируется. Увеличение массовой доли влаги в концентрате на 1 % повышает расход тепла на коксование, снижает производительность коксовых печей на 3–4 %, повышает износ кладки печей [5].

В промышленных условиях применяют смеси углей коксующихся марок, которые составляются с учетом требований, предъявляемых к качеству кокса и химическим продуктам коксования. Дело

в том, что запасы коксующихся углей составляют всего десятую часть запасов ископаемых углей. Дефицит коксующихся углей связан не только с определенной ограниченностью их запасов, но и с залеганием их на больших глубинах или в сложных горно-геологических условиях. Коксующиеся угли обычно слагают пласты небольшой мощности. Все это обуславливает высокую стоимость их добычи. Поэтому в настоящее время идет тенденция к снижению в шихте участия дефицитных углей марки Ж и К за счет повышения долевого участия газовых углей, а также марок ОС и СС, запасы которых на небольших глубинах весьма значительны.

Но эти угли необходимо подвергать более глубокому обогащению по зольности, т. к. их зола содержит вредные для доменного процесса компоненты, в то время как зола углей марок К и Ж имеет более благоприятный для доменного процесса химический состав.

В этой связи в стандарте на коксовые угли более жесткие требования по зольности установлены к обогащенным углям марок Г, ОС, СС, но допускается повышение пределов зольности для жирных и коксовых концентратов.

Специальные процессы подготовки и коксования. В качестве примера можно привести процесс получения формованного кокса. Формование измельченного угля под прессом (давление 5 кг/см^2) происходит при температуре $450 \text{ }^\circ\text{C}$, а полученную формовку коксуют при температуре $950 \text{ }^\circ\text{C}$, рис. 4 [11].

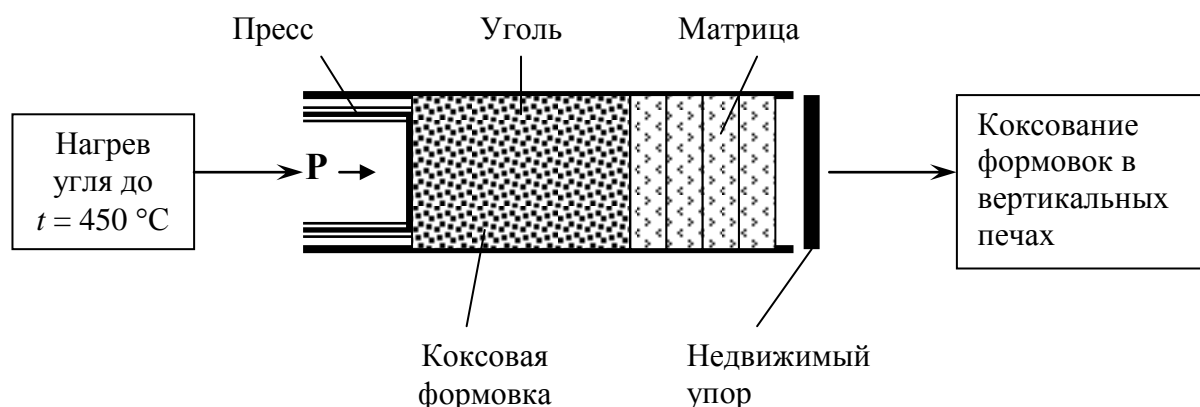


Рис. 4. Производство формованного кокса

Для этих целей используются все марки, группы, полгруппы каменных углей, используемые для слоевого коксования, а также

марки Т группы 1Т, 2Т, подгруппы 1ТВ, 1ТФ, 2ТВ, 2ТФ, а также марку Д, подгруппу ДВ.

Производство генераторного газа. Давно известен способ получения синтетического топлива из угля – газификация. При этом процессе, протекающем в газогенераторах различных систем, горючая часть угля полностью переходит в газ. Для газификации пригоден любой уголь, при условии разработки специальной технологии его рентабельной переработки. Согласно ГОСТ 25543–88 для этих целей используются угли, представленные в табл. 13.

Обычно для этих целей используют угли класса крупности К, М, С, О, зольностью до 30 %, рабочей влажностью до 50 %, при содержании серы 2 %, реже более. Угли должны иметь повышенную механическую и термическую стойкость.

Производство синтетического жидкого топлива. Одно из основных отличий ископаемого угля от нефти состоит в меньшем содержании в нем водорода – наиболее калорийного компонента топлива (4–8 % в угле, 11–15 % в нефти). Но если измельченный уголь насыщать водородом при высоких температурах (400 °С) и давлении (300 кгс/см²) он почти полностью переходит в жидкое состояние – синтетическую нефть, которая мало отличается от природной, что наглядно отражено в табл. 14 [1].

Таблица 13

Угли, используемые для производства генераторного газа

Направление использования	Марка	Группа	Подгруппа
Производство генераторного газа а газогенераторах стационарного типа:			
– смешанного газа	Б	ЗБ	ЗБВ, ЗБФ
	ДГ	–	ДГФ
	КС	1КС	1КСВ, 1КСФ
		2КС	2КСВ, 2КСФ
	ГЖО	1ГЖО	1ГЖОВ, 1ГЖОФ
	СС	1СС, 2СС, 3СС	–
	ТС	–	ТСВ
	Т	1Т	1ТВ
– водяного газа	Т	2Т	2ТВ, 2ТФ
	А	1А	1АВ, 1АФ
		2А	2АВ, 2АФ
		3А	3АВ, 3АФ

Сравнительная характеристика состава нефти и угля

Сырье	Углерод	Водород	Сера
Нефть	84–87	11–15	0,1–3 и более
Бурый уголь (Канско-Ачинский бассейн)	70–74	4,6–5,2	0,2–0,7
Каменный уголь (Кузнецкий бассейн)	80–84	5,4–5,7	0,5–0,6
«Угольная нефть»:			
– из бурого угля	84–87	11–13	0,3–0,8
– из каменного угля	84–87	11–13	0,3–0,9

Для производства синтетического жидкого топлива используются марки угля Б, группы 1Б, 2Б, 3Б, подгруппы 2БВ, 3БВ, а также марки Д, ДГ, Г, группы 1Г, 2Г, подгруппы ДВ, ДГВ, 1ГВ.

Важное условие – высокое содержание в угле витринита – блестящего компонента, который полностью переходит в жидкое состояние. Наиболее крупные запасы таких углей, исчисляемые десятками миллиардов тонн, сосредоточены в Канско-Ачинском, Кузнецком и Иркутском бассейнах.

Перспективность этого направления базируется на огромных ресурсах углей, пригодных для сжигания. Ведь «угольной» нефти можно получить много больше, чем природной.

Полукоксование – равномерный прогрев угля до 500–550 °С без доступа воздуха. В результате получается полукокс, газ и смола. Полукокс – это твердый углеродный остаток, характеризующийся высокой реакционной способностью – отличное топливо для различного рода топок и газогенераторов. Полукокс из бурых углей обладает большой пористостью и часто используется в качестве адсорбента. Смола полукоксования – темно-коричневая или золотисто-красная жидкость, ближе по составу к нефти и является ценным сырьем для производства бензина, керосина, мазута, а также фенолов, из которых изготавливают пластмассы и краски. Для получения жидкого топлива смолу подвергают перегонке – разделению на фракции по температуре кипения. Газ полукоксования обычно используют как топливо. Много ценных веществ также содержит подсмольная вода, которая используется для получения ацетона, уксусной кислоты, аммиака, цианидов.

Для полукоксования используются марки углей ГЖ, Б, Д, ДГ, Г, группы 1ГЖ, 2ГЖ, 1Б, 2Б, 3Б, 1Г, подгруппы 2БВ, 3БВ, ДВ, ДГВ, ДГФ, 1ГВ, 1ГФ.

Производство углеродистого наполнителя (термоантрацита) для электродных накопителей и литейного кокса. Для этих целей используется уголь марки Т, группа 2Т, подгруппа 2ТФ и в основном уголь марки А, все группы антрацита: 1А, 12А, 3А и подгруппы: 1АФ, 1АВ, 2АФ, 2АВ, 3АФ, 3АВ. Обычно применяют класс 70–120 мм, зольностью до 5 % и содержанием серы не более 2,5 %. Электроды из термоантрацита подводят ток в зону реакции для выплавки алюминия, легированных сталей, ферросплавов.

Для литейного производства антрацит должен быть повышенной механической прочностью и термической стойкости, иметь плотную структуру без породных прослоек, ограничения по зольности и сере, соответственно не более 8 и 2,5 %.

Производство карбида кальция. Для этих целей используется малозольный, малосернистый антрацит и уголь марки Т (зольность 7 %, содержание серы до 1,5 %) крупных классов (П, К, КО), группы 2Т, 1А, 2А, 3А; подгруппы 2ТФ и все подгруппы антрацита.

2.3. Использование угля на энергетические нужды

Преобладающее количество угля расходуется на энергетические нужды. Для сжигания могут использоваться угли всех марок.

Основными показателями качества энергетических углей являются рабочая гигроскопическая влажность, зольность, выход летучих веществ, содержание серы, гранулометрический состав, низшая теплота сгорания рабочего топлива, состав и плавкость золы. В зависимости от способа сжигания необходимо знать механическую прочность, термическую устойчивость углей и размолоспособность.

В энергетических целях в зависимости от способа сжигания используются промпродукты, отсева, рядовые и рассортированные угли. Для рассортированных углей допускаются объединение классов: семечко и штыб (СШ); орех с мелким (ОМ); мелкого с семечком и штыбом (МСШ).

Требования промышленности к энергетическим углям регламентированы государственными стандартами, обеспечивающими предельную влажность, зольность, размер кусков, содержание породы.

В энергетике угли предназначаются для сжигания в топочных устройствах различных конструкций.

Пылевидное сжигание в стационарных котельных установках. Пылевидный (факельный) способ сжигания является основным способом в крупной энергетике и заключается во вдувании угольной пыли в камеру сгорания. Этот способ позволяет использовать все марки, группы, подгруппы бурых углей и антрацитов, а также неиспользуемые для коксования все марки, группы, подгруппы каменных углей. Топливо при пылевидном сжигании измельчается, а высоковлажные угли подсушиваются. Требования к углям дифференцированы в зависимости от видов топок.

Крупные энергоблоки могут нормально работать, используя все заложенные в их конструкциях возможности, лишь на высоком и стабильном качестве энергетического топлива. Рост зольности снижает экономичность котельных агрегатов. Например, повышение зольности антрацита (АШ) с 20 до 30 % снижает КПД котла с 90,5 до 88,3 % [12].

Слоевое сжигание в стационарных котельных установках. Слоевой способ сжигания применяется в котлоагрегатах малой и средней мощности. В этом случае сжигается кусковой уголь. Для слоевого сжигания обычно применяют все марки, группы, подгруппы бурых углей и антрацитов, а также неиспользуемые для коксования все марки, группы, подгруппы каменных углей. Важнейшими характеристиками угля, определяющими эффективность его использования при слоевом сжигании, являются гранулометрический состав, спекаемость, зольность, выход летучих, реакционная способность, термическая стойкость топлива. Повышение зольности на 1 % влияет на снижение эффективности использования при слоевом сжигании в 3–5 раз больше, чем при пылевидном сжигании [4].

Эффективность сжигания существенно зависит от соотношения крупных и мелких кусков. При соотношении их размеров более 4 или большем содержании мелочи горение становится кратерным (отдельными очагами в местах, где лучше газопроницаемость слоя), что приводит к неполному сгоранию топлива.

В топках уголь сжигается в слое на колосниковой решетке с небольшим топочным пространством и при ограниченной тяге. Поэтому слой топлива не должен быть плотным, чтобы не затруднять прохождение воздуха через печь. Оптимальную газопроницаемость

обеспечивает топливо с размерами кусков не менее 13 и не более 50 мм. Сжигание углей с высоким выходом летучих в топках малого объема приводит к потерям в результате химического недожега.

Потери угольной мелочи при слоевом сжигании от провала через зазоры между колосниками и от уноса со шлаками и дымовыми газами достигает больших значений. При содержании штыба в угле около 40 %, потери его составляют около 10 %. Исследованиями установлено, что снижение содержания мелочи на 1 % влечет за собой экономию топлива на 0,54 % [4]. Поэтому в стандартах установлены нормативы содержания мелочи.

Остальные направления использования углей, как в энергетике, так и для производства строительных материалов наглядно представлены в табл. 15.

Таблица 15

Направления использования углей различных технологических марок, групп и подгрупп

Направление использования	Марки, группы, подгруппы
1. Энергетическое:	
– сжигание в отражательных печах	Марка ДГ, группы: 1Г, 1СС, 2СС
– сжигание в топках судов	Марки: Д, ДГ, СС, Т, А; неиспользуемые для коксования марки: Г, ГЖ, Ж, КЖ; группа 1ГЖО
– сжигание в топках энергопоездов	Марки: Д, ДГ, Г; группы: 2СС, 3СС; подгруппы: 3БВ
– сжигание в топках паровозов и как топливо для коммунальных и бытовых нужд	Все марки, группы и подгруппы бурых углей и антрацитов, а также неиспользуемые для коксования все марки, группы и подгруппы каменных углей
2. Производство строительных материалов, в том числе:	
– извести	Марки: Д, ДГ, СС, А; группы: 2Б и 3Б; а также неиспользуемые для коксования марки: ГЖ, К; группы: 2Г, 2Ж
– цемента	Марки: Б, ДГ, СС, ТС, Т, А; подгруппа ДВ и неиспользуемые для коксования марки: КС, КСН; группы 2Г и 1ГЖО
– кирпича	Неиспользуемые для коксования угли всех марок, групп, подгрупп
3. Прочие:	
– производство углеродных адсорбентов	Подгруппы: ДВ, 1ГВ, 1ГЖОВ, 2ГЖОВ
– производство активного угля	Группа 3СС, подгруппа 2ТФ
– агломерация руд	Подгруппы: 2ТФ, 1АВ, 2АВ, 3АВ

Следует отметить, что на каждое направление использования угольной продукции имеются стандарты, где указаны технические требования по показателям, предъявляемым потребителями.

Кроме государственных стандартов технологических требований на угли по видам потребления в угольной промышленности введены технические условия, в которых нормы установлены на основании конкретных горно-геологических условий каждого предприятия при соответствующей этим условиям технологии добычи угля, а также с учетом проведения всех мероприятий по повышению качества топлива. Для угольных шахт, разрезов и обогатительных фабрик установлен порядок, регламентирующий выпуск товарной продукции по нормам технических условий.

Все нормы показателей качества, принимаемые в технических условиях, не должны превышать предельные нормативы, предусмотренные в ГОСТе по видам потребления.

Вопросы для самопроверки

- 1. Назвать основные направления использования угля.*
- 2. Дать краткую характеристику основных направлений технологического и энергетического использования углей.*
- 3. Назвать продукт, получаемый из угля и используемый в металлургической промышленности.*
- 4. Какой продукт получают из угля в результате процесса гидрогенизации?*
- 5. Какой продукт получают из угля в результате процесса газификации?*
- 6. Как называют процесс получения из угля синтетического жидкого топлива?*
- 7. Как называется одно из основных направлений использования углей, к которому относится производство карбида кальция?*
- 8. Как называется одно из основных направлений использования углей, к которому относится слоевое сжигание угля в стационарных котельных установках?*

3. ДИВЕРСИФИКАЦИЯ УГОЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ

Диверсификация (позднелат. *Diversificatio* – изменение, разнообразие, от лат. *Diversus* – разный и *facio* – делаю). Общее понятие *диверсификация продукции* – это увеличение ассортимента произведенных товаров и услуг, перенаправление сбыта на другие сегменты рынка, овладение новыми технологиями производства с целью получения экономических выгод и предупреждения банкротства компаний [13]

3.1. Производство водоугольного топлива

В плане создания экологически чистых топлив угольного происхождения особый интерес представляет производство водоугольного топлива.

Водоугольное топливо (ВУТ), или высококонцентрированная водоугольная суспензия (ВВУС), является искусственной композиционной дисперсной топливной системой, составляемой на основе тонкоизмельченного угля (до класса менее 0,2 мм) и воды, являющейся дисперсной средой [14]. Для приготовления ВУТ может использоваться природная вода, технологическая вода или жидкие отходы. Для того чтобы суспензия не расслаивалась, в качестве стабилизаторов применяют высшие жирные кислоты, высшие спирты, эфиры, поверхностно-активные вещества (ПАВ).

Технология приготовления угольной суспензии включает стадии добычи, дробления и тонкого измельчения угля, получения суспензии при интенсивном перемешивании и ее стабилизации. Начиная с дробления добытого угля, все последующие технологические стадии производства водоугольных суспензий являются «мокрыми» процессами, при которых в атмосферу не выбрасывают даже следов твердых частиц.

По условиям горения и уровню выгорания углерода ВВУС существенно отличаются от угля и приближаются к жидким топливам. При сжигании ВВУС не образуется летучей золы; мелкие частицы минеральных компонентов угля при сжигании капель суспензии объединяются в крупные (до 0,5 мм) агломераты и легко выделяются из продуктов сгорания известными методами со степенью извлечения до 99,5 %, что резко сокращает выбросы твердых

частиц в атмосферу. Преимущества ВВУС состоят в том, что минеральные компоненты могут содержать необходимое количество кальция для связывания серы. Наконец, процесс горения ВВУС протекает при меньших температурах и избытках воздуха, чем при сжигании угольной пыли, что позволяет снизить до 50 % образование и выбросы оксидов азота. Все это позволяет рассматривать ВВУС как экологически чистое топливо, не требующее создания дополнительных систем очистки продуктов горения от вредных веществ перед их выбросом в атмосферу. Технология приготовления ВВУС является поточной технологией без перевалок, остановки и накопления промежуточного продукта, что позволяет достаточно просто организовать полную автоматизацию процесса и резко снизить трудовые затраты на приготовление и использование этого топлива.

Вместе с тем практика использования ВВУС в котельных установках показала, что в отличие от мазута, водоугольное топливо имеет низкую теплоту сгорания из-за достаточно высокого содержания воды, достигающего 25–55 %: ВВУС из каменных углей и антрацитов может иметь низшую теплоту сгорания не ниже 20–22 МДж/кг, а для суспензии из бурых углей – низшую теплоту сгорания до 16–18 МДж/кг [15]. Кроме того, применение ВВУС затруднено в районах Крайнего Севера, где вследствие сильных морозов возможно гелеобразование.

Поэтому для устранения этих недостатков необходимо заменять часть воды таким компонентом, который обладал бы существенной теплотой сгорания и низкой температурой застывания. Этим требованиям отвечают низшие алифатические спирты (C_1-C_4) [16]. Вместе с тем введение спиртов в состав ВВУС усложняет технологию их приготовления и перекачки, так как спирты имеют меньшую плотность, чем вода, и это требует специальных приемов стабилизации угля в водоспиртовой дисперсионной среде. В качестве диспергаторов можно применять высшие жирные кислоты, мыла, высшие спирты или эфиры на их основе. В дисперсионную среду предлагается добавлять углеводородные фракции, например тяжелую лигроиновую или керосиновую фракцию. Это позволяет готовить угольные суспензии, содержащие 60–70 % угля и незамерзающие до температуры порядка -40 °С. Данные по сжиганию таких спиртоводоугольных суспензий, полученные американскими

учеными, показали, что это топливо в отличие от ВВУС увеличивает стабильность пламени, повышает степень конверсии углерода, снижает тепловые потери на испарение влаги. В результате КПД котла увеличивается в среднем с 75 до 82 %, а степень конверсии углерода – с 95 до 98 % [15]. Следовательно, используя в качестве дисперсионной среды углеродные спиртовые смеси, можно получить стабильные и транспортабельные суспензии.

Наиболее перспективным сырьем для получения ВВУС следует считать дешевые бурые угли, добываемые открытым способом, в частности угли Канско-Ачинского бассейна. Однако в отличие от ВВУС на базе каменных углей, где концентрация твердой фазы достигает 65–75 % по массе, в ВВУС на основе бурых углей при сохранении ими свойств, присущих жидкостям, она не превышает 45–50 % масс.

За последние годы в ряде стран мира (США, Канаде, Японии, Китае, Швеции, России и др.) созданы техника и технология приготовления, хранения, транспортирования и сжигания этого нового, экологически чистого топлива [17].

В России, в Кузбассе, в 1989 г. была сооружена первая очередь комплекса производства и транспортировки ВВУС – опытно-промышленный углепровод Белово–Новосибирск протяженностью 263 км (рис. 5) [17]. Диаметр трубопровода 530 мм, глубина его заложения 2,5 м по низу трубы. Пусковой комплекс был рассчитан на производительность 1,2 млн т в год при пересчете на сухой уголь. В 1991 г. углепровод был выведен на заданный режим, что свидетельствовало о высокой надежности технологии [18]. Исследованиями научных организаций [19], а также опытным сжиганием 5 тыс. т суспензии на ТЭЦ-5 г. Новосибирска и 1,3 тыс. т на Ачинском глиноземном комбинате были определены требования к качеству ВВУС, идущих на замену мазута и обеспечивающих транспортирование с наименьшими энергетическими затратами, стабильность при транспортировании и хранении, высокие экологические и теплотехнические характеристики (табл. 16). Специалисты провели сравнительную технико-экономическую оценку затрат на приготовление пыле- и водоугольного топлив и пришли к выводу, что затраты на приготовление и транспортировку ВВУС значительно ниже, чем для пылевидного топлива. ВУТ дешевле, чем топливо, полученное при газификации угля [18].



Рис. 5. Схема углепровода Белово-Новосибирск

Водоугольные суспензии представляют собой жидкое безопасное топливо, исключают опасность взрыва и самовозгорания, обеспечивают возможность перекачки по трубопроводу, долговременное хранение, позволяют производить прямое сжигание в котлах или других системах без дополнительной подготовки. Переход к применению водоугольной суспензии взамен сухого угля на ТЭС способствует и решению экологических проблем.

Таблица 16

Качественные характеристики ВВУС

Наименование показателя	Значение показателя
Теплота сгорания суспензии: из каменных углей марки Д, ДГ, Г из бурых углей	14,7 МДж/кг 10,5 МДж/кг
Содержание твердой фазы	Не менее 65–75 %
Зольность	Не более 14 %
Стабильность	Не менее 3 месяцев
Размер частиц угля	Не более 250 мкм
Коррозионная стойкость углепровода	Не менее 50 лет

При сжигании ВВУС существенно снижаются золоотходы, выбросы оксидов серы и азота. В сравнении с железнодорожным транспортом 1,5–3 раза снижаются текущие и капитальные затраты [17].

3.2. Подземная газификация углей

3.2.1. Газификация угля

Газификация угля представляет собой процесс превращения его органической массы при помощи свободного или связанного кислорода при повышенных температурах (800–1500 °С) в газообразные горючие вещества. В процессе газификации углерод превращается чаще всего в монооксид углерода, водород – в водяные пары и вместе с серой, содержащейся в органической массе угля, в сероуглерод, азот – в оксиды азота. Минеральная часть угля в зависимости от температуры газификации переходит в золу или шлак.

Газификация угля как возможный источник горючих газов не противопоставляется газоснабжению на основе природных газов, а является средством повышения эффективности использования твердого топлива в энергетике. Такое облагораживание угля представляет интерес в связи с требованиями экологии (особенно в случае применения высокосернистых углей) и для химической промышленности (получение синтез-газа), поскольку синтез-газ является исходным сырьем в разнообразных органических синтезах.

Процессы газификации, которые рассмотрены достаточно подробно в монографиях [20, 21], осуществляют в газогенераторах. В настоящее время во многих странах мира работает большое число газогенераторов типа Лурги, разработанных еще в 30-е годы прошлого столетия, в которых медленно опускающийся слой угля (куски размером 5–30 мм) продувается восходящим потоком паровоздушной или парокислородной смеси под давлением 3 МПа [1].

Примерно к тому же времени относится разработка газогенераторов Копперса–Тотцека, которые и сегодня имеют промышленное значение, главным образом для производства синтез-газа. В этих газогенераторах процесс осуществляется при движении угольной пыли в одном направлении (в спутном потоке) с парокислородной смесью при атмосферном давлении и температуре 1500–1600 °С [1].

Из старых газогенераторов, используемых промышленностью в настоящее время, следует упомянуть газогенератор Винклера. Первый такой аппарат был построен еще в 1926 г. В газогенераторе Винклера процесс осуществляется в кипящем слое угля (размер частиц 0–5 мм), создаваемом потоком парокислородной смеси при атмосферном давлении. Температуру процесса выбирают в интервале 900–1000 °С [1].

Перечисленные методы достигли промышленной зрелости и могут считаться классическими. Сейчас имеются усовершенствованные старые и новые разработки различных схем газификации угля, но лишь некоторые из них реализованы достаточно в крупных масштабах.

Газы, полученные газификацией твердого топлива, принято подразделять по теплоте сгорания на три группы [22]:

- низкой теплоты сгорания (до 6,7 МДж/м³);
- средней теплоты сгорания (от 12 до 18 МДж/м³);
- высокой теплоты сгорания (от 30 до 35 МДж/м³).

Теплота сгорания газов зависит как от качества газифицируемого угля, так и от условий его газификации.

3.2.2. Технология подземной газификации углей

В природе имеются месторождения углей, промышленная разработка которых традиционными методами добычи нерациональна (малая мощность пласта, крутой угол падения, низкая теплота сгорания и т. п.). В таких случаях целесообразно осуществлять подземную газификацию угля (ПГУ). В бывшем СССР, начиная с 30-х годов прошлого столетия, использовали подземную газификацию углей Подмосковского бурогоугольного бассейна, позднее углей Ангрэнского бурогоугольного бассейна в Узбекистане. Характеристика процесса подземной газификации углей этих месторождений приведена в табл. 17 [22].

Идея подземной газификации заключается в том, что в угольный пласт бурят вертикально или наклонно скважины. В часть скважин подают газифицирующий агент, например воздух. Пласт поджигается, и фронт горения движется от подающих воздух скважин к скважинам, отбирающим продукты газификации, рис. 6. Основной трудностью подземной газификации является ее зависи-

мость от геологических и гидрологических условий, от отсутствия газонепроницаемых стенок, а иногда и кровли, что вынуждает вести процесс при минимальном давлении. Уникальность природных условий каждого месторождения не позволяет переносить опыт, накопленный на одном участке, на другой [23].

Таблица 17

Характеристика процесса подземной газификации углей
отдельных месторождений

Месторождение угля	Характеристика участка			Состав газа, %					Теплота сгорания, МДж/м ³
	Глубина, м	Мощность средняя, м	Угол падения, град.	CO ₂	CO	H ₂	CH ₄	N ₂	
Подмосковный бассейн	40–60	2	2–3	17	5,5	13,5	2	62	3,3
Ангренский бассейн	100–200	9	5–15	17–20	4–8	17–20	2	50–58	4,2

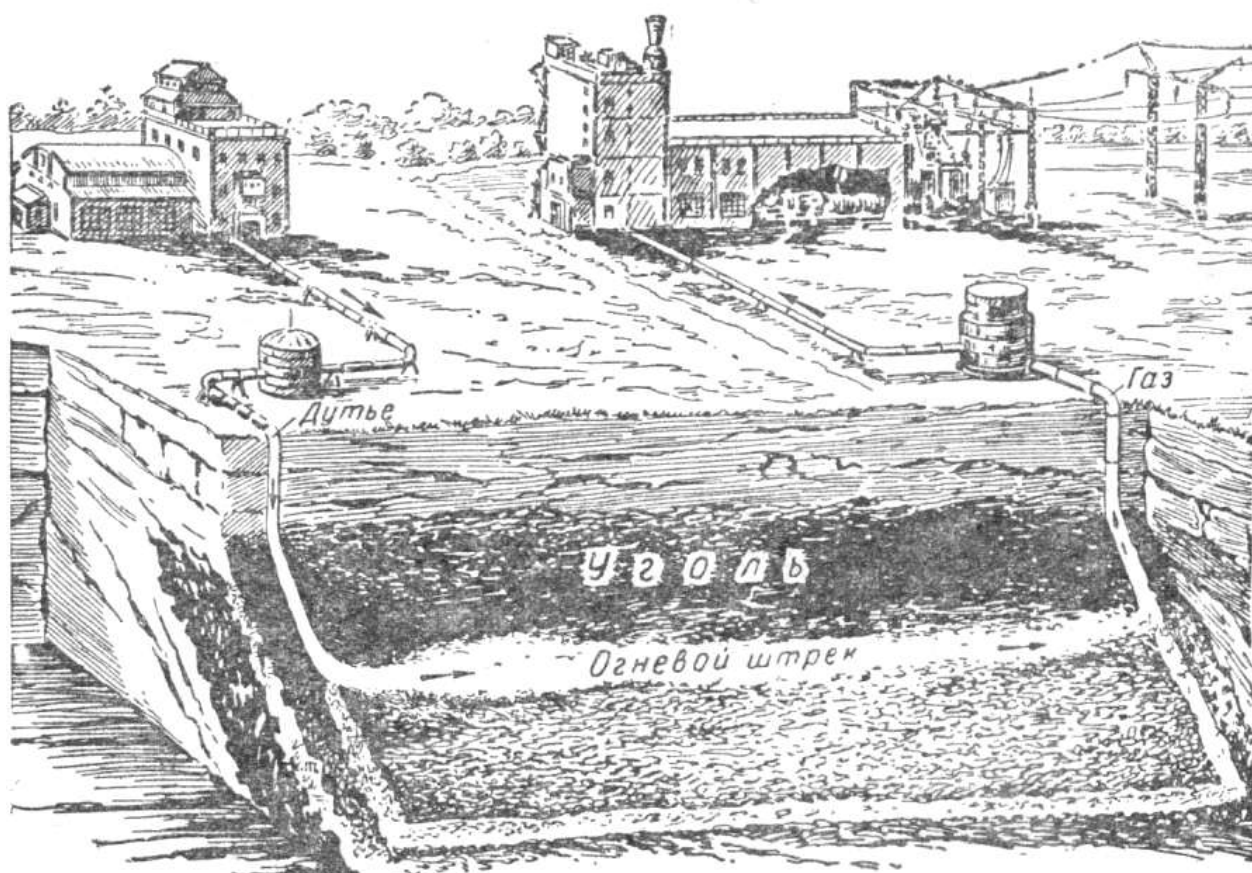


Рис. 6. Подземная газификация угольного пласта

Впервые эксперименты по ПГУ в Кузбассе были проведены еще в 1935 г. районе г. Ленинска-Кузнецкого на пласте «Жури-

ском». До недавнего времени в Кузбассе находилось единственное в России предприятие подземной газификации углей – Южно-Абинская станция «Подземгаз». Она была введена в эксплуатацию как опытно-промышленное предприятие, и первоочередной его задачей явилась проверка возможностей использования ПГУ в качестве полноценного метода разработки угольных месторождений. В границах горного отвода станции размещалось 23 пласта мощностью от 2 до 9 м с углами залегания 55–70°. Первоначальные запасы горного отвода составляли 281,4 млн т. Проектная мощность Южно-Абинской станции «Подземгаз» – 500 млн м³ газа в год. За время работы предприятия было переработано 3 млн т угля, выработано 9 млрд м³ газа со средней теплотой сгорания 911 ккал/м³. Средний состав газа, производимого на Южно-Абинской станции за все время ее эксплуатации, характеризуется следующими диапазонами изменения содержания отдельных компонентов газа: CO₂ – 12,0–15,3 %; C_nH_m – 0,1–0,7 %; O₂ – 0,2 %; CO – 10,0–14,0 %; H₂ – 12,1–16,2 %; CH₄ – 2,0–4,0 %; N₂ – 55,0–60,0 %; H₂S – 0,01–0,06 % [24]. Потребителями газа ПГУ являлись 12 предприятий Прокопьевска и Киселевска, в том числе котельные установки шахт, машиностроительного завода, хлебозаводов, завода железобетонных изделий, автотранспортных предприятий.

Следует отметить, что при газификации углей на глубоких горизонтах усиленное проявление горных факторов, отрицательно сказывающихся на шахтной разработке глубокозалегающих пластов (увеличение горного давления, температуры, уменьшение влажности пород, увеличение плотности вмещающих пород), положительно влияет на протекание технологического процесса газификации. При осуществлении процесса ПГУ на глубоких горизонтах представляется возможным вести газификацию при высоком давлении, что существенно повысит теплоту сгорания получаемого газа, а также позволит осуществить бескомпрессорную транспортировку газа ПГУ на расстояние 200–500 км от мест его производства.

Газ ПГУ обладает всеми преимуществами газообразного топлива. Несмотря на то, что теплотворность его примерно в 8 раз ниже теплотворности природного газа, по условиям сжигания газ ПГУ не намного отличается от природного. Это объясняется тем, что теплотехнический эффект газообразного топлива определяется не теплотворной способностью собственно газа, а теплотворностью

горючей газозвушной смеси, которая подается в топку, а также скоростью горения. Для сжигания 1 м^3 метана требуется $9,5 \text{ м}^3$ воздуха. Теплотворная способность горючей смеси метана с воздухом составляет 800 ккал/м^3 . Для сжигания 1 м^3 газа ПГУ требуется 1 м^3 воздуха. Следует также отметить, что газ ПГУ более удобен для сжигания, так как обладает большой скоростью распространения пламени ($0,7\text{--}0,9 \text{ м/с}$), которая превышает скорость сгорания метана. Этот факт объясняется наличием в газе ПГУ большого количества водорода [23].

Среди преимуществ использования газа ПГУ в качестве топлива вместо угля можно еще выделить следующие:

- согласно нормативам, для котлоагрегатов, работающих на угле, потери от химической неполноты сгорания составляют $2\text{--}5 \%$, потери от механической неполноты сгорания – $7\text{--}11 \%$. При сжигании газа ПГУ эти потери практически могут быть снижены до нуля;
- при переходе с угольного топлива на газ ПГУ для крупных котельных численность работающего персонала (и соответственно фонд заработной платы) может быть уменьшена на 30% ;
- повышается производительность котлоагрегатов, исчезает необходимость в работах по перевозке и хранению топлива и золы;
- повышается культура производства. Котельные, работающие на газе, легче поддаются автоматизации.

Существенны и экологические аспекты технологии ПГУ. Подсчитано, что при транспортировке угля в железнодорожных вагонах его потери составляют в целом по Кузбассу $1,5\text{--}2,0 \%$, или примерно $1,5 \text{ млн т}$ ежегодно [24]. На всем пути перевозки этот уголь выдувается из вагонов на поля и жилые районы. При ПГУ потерь подобного рода и такого типа загрязнения окружающего пространства не происходит. Следует особо отметить, что метод ПГУ позволяет не нарушать растительный слой, и после окончания газификации угольного пласта наземный участок может быть без какой-либо рекультивации передан для сельскохозяйственного использования.

Социальные преимущества ПГУ выражаются в изменении места и роли человека в процессе извлечения топлива из недр, а также содержания и характера его труда, в частности в ликвидации опас-

ного для жизни и здоровья людей подземного труда. Кроме того, несмотря на общий высокий уровень механизации при подземном способе разработки угольных месторождений, известно, что некоторые процессы до настоящего времени трудно поддаются механизации. К ним, в частности, относятся работы, связанные с креплением горных выработок, настилкой рельсовых путей, погрузкой и разгрузкой и т. п. При подземной газификации угольных пластов характер труда рабочего значительно изменяется. Практически все процессы технологии ПГУ легко поддаются механизации либо автоматизированы. Вероятность несчастных случаев или возникновения профессиональных заболеваний несравнимо ниже, чем при традиционных способах добычи угля. Важным социальным преимуществом ПГУ является и психологический фактор, действие которого трудно измерить количественно.

Одним из достоинств технологии подземной газификации является стабильность: газ ПГУ имеет практически неизменную теплотворную способность (хотя и более низкую, чем метан), и при этом бесперебойное снабжение им потребителей может быть гарантировано на несколько десятилетий.

Еще в 70-е годы прошлого столетия проводилась работа по подбору угольных месторождений Кузбасса, пригодных для ПГУ [24]. Один из источников угольных запасов в Кузбассе, рекомендуемых для отработки методом ПГУ – забалансовые запасы действующих шахт, т. е. запасы угля, расположенные на шахтном поле, признанные непригодными для отработки их с помощью существующей на данной шахте технологии. Забалансовые запасы шахт особенно интересны еще и потому, что они представлены, как правило, углем высокой стадии метаморфизма. Поэтому отработка данных запасов посредством их газификации позволит использовать ценные угли. Общее количество запасов угля в Кузбассе, которые не могут быть отработаны традиционным способом, но возможность разработки которых методом ПГУ может прогнозироваться в целом положительно, составляет примерно 13–15 млрд т [24]. Однако, окончательное решение о пригодности какого-либо месторождения или конкретного участка для применения там метода ПГУ можно принять лишь после доразведки и получения дополнительных сведений, в частности гидрогеологического характера.

3.3. Производство искусственного жидкого топлива

Интерес к проблеме ожижения угля обусловлен тем, что во многих случаях удовлетворительной альтернативы жидким видам топлива (например, при использовании моторных топлив) нет. Более того, необходимость увеличения использования угля для производства электроэнергии выдвигает дополнительные требования по охране окружающей среды, что, в свою очередь, также повышает интерес к проблеме получения «чистого» жидкого топлива из угля, которое помимо всего прочего легко хранить. Одним из основных методов прямого ожижения угля в синтетическое жидкое топливо и сырье для химической промышленности является гидрогенизация.

Гидрогенизация – комплекс реакций, протекающих при взаимодействии угля с водородом при повышенных температурах 380–500 °С и давлении водорода 20–70 МПа в присутствии катализатора и растворителя-пастообразователя, сопровождающихся разрывом (деструкцией) углеродных связей, присоединением водорода и отщеплением функционального кислорода, азота и серы [1, 20, 21]. В зависимости от применяемых катализаторов процесс может быть направлен на получение химикатов, моторных топлив и смазочных масел, либо целиком на получение химических продуктов.

Еще в 1869 году М. Бертло впервые указал на возможность получения из угля жидких продуктов путем насыщения его водородом. Полвека спустя Ф. Бергиус разработал и запатентовал этот процесс гидрогенизации. В дальнейшем этот метод получил промышленное воплощение для получения из угля «искусственной нефти» в первую очередь странах, в которых отсутствовали или имелись в ограниченном количестве запасы природной нефти. Во время второй мировой войны путем каталитической деструктивной гидрогенизации в Германии перерабатывалось до 9000 тыс. т угля в сутки. После войны производство жидкого топлива прекратило свое существование в связи с появлением на рынке дешевых нефтепродуктов. Однако в разных странах гидрогенизационным процессам уделяется повышенное внимание во всех национальных программах. Неизбежность истощения нефтяных запасов оказывает влияние на интенсивность исследовательских работ по усовершенствованию существующих и разработке новых технологий в этой области [1].

Для гидрогенизации могут быть использованы почти все бурые и каменные угли, для которых отношение 100 H:C больше 7, где H и C массовое содержание водорода и углерода в органической части угля. Зольность каменных углей не должна быть выше 4–6 % [20]. Следует отметить, что наиболее ценным сырьем для получения при гидрогенизации высокого выхода жидких продуктов являются витрен и споровые вещества углей малой и средней степени метаморфизма. Фюзен дает очень малый выход масел при прочих равных условиях.

Основные технологические стадии процесса деструктивной гидрогенизации угля следующие:

- измельчение угля до частиц размером менее 1 мм, чтобы обеспечить его хорошую реакционную способность;
- приготовление пасты из измельченного угля с добавлением растворителя-пастообразователя;
- взаимодействие этой пасты в присутствии катализатора с водородом при высоких давлении и температуре. В качестве катализатора применяют соединения железа, алюминия, никеля, вольфрама;
- разделение конечных продуктов.

Конечные продукты процесса гидрогенизации разделяются в сепараторе на парогазовую смесь и тяжелый осадок – шлам. Из первого потока выделяются жидкие продукты (масло, вода) и газ, который после отделения углеводородных газов обогащается водородом и возвращается в процесс. Шлам разделяется на жидкие продукты и твердый остаток. Жидкие продукты, выход которых составляет 50–80 % от органической массы угля, содержат много компонентов (в зависимости от условий процесса и качества исходного угля) и подвергаются ректификации. Легкокипящие фракции используют как моторные топлива и масла, а высококипящие в качестве растворителя-пастообразователя. Соотношение бензина и дизельного топлива колеблется от 1:3 до 1:5 в зависимости от целей и условий процесса [1].

При очистке жидких продуктов бензиновая фракция имеет октановое число 72 в чистом виде и может использоваться как высокооктановый компонент автомобильного бензина или как сырье для получения химических продуктов (например, бензола или ксилолов).

Установки деструктивной гидрогенизации углей представляют собой по существу целые комплексы, в задачу которых входит не только осуществление гидрогенизации углей, но и производство водорода, ректификация масел, утилизация углеводородных газов и пр. Техничко-экономическая эффективность таких комплексов тем выше, чем полнее используют все продукты переработки угля.

Эффективность процесса гидрогенизации определяется:

- выходом жидких продуктов на органическую массу сырья;
- относительной скоростью процесса гидрогенизации, от которой зависит выбор объемной скорости. Объемная скорость процесса гидрогенизации – количество сырья, перерабатываемого в единицу времени в единице объема гидрогенизационного аппарата, – является одним из основных показателей, определяющих производительность установки гидрогенизации. Эта скорость зависит от типа угля, катализатора, температуры и давления процесса. Оптимальная объемная скорость подбирается эмпирически и составляет обычно 0,8–1,3 т на 1 м³ реакционного объема в час;
- расходом водорода, зависящим, в первую очередь, от состава угля.

Синтетическое жидкое топливо может быть получено при газификации углей с последующим синтезом по методу Фишера–Тропша. Эта технология была реализована в нашей стране на Новочеркасском заводе [1]. В ЮАР с 1955 г. находится в эксплуатации завод производственной мощностью 240 тыс. т жидкого топлива в год, фирма «Sasol» [25]. Применение технологии Фишера–Тропша для получения жидких видов топлива из угля с предварительной его газификацией является единственной технологией, используемой в настоящее время в промышленных масштабах. Преимуществом метода газификации угля с последующим применением технологии Фишера–Тропша является возможность переработки углей с низкой теплотой сгорания и высоким содержанием серы, а недостатки обусловлены трудностями, связанными с транспортированием получаемого топлива: его доставка должна осуществляться обособленно от обычных видов нефтяных топлив.

3.4. Угольные адсорбенты

3.4.1. Общая характеристика угольных адсорбентов и их физико-химические свойства

Адсорбентами твердыми сорбентами) называют класс твердых пористых материалов органического, органоминерального и минерального происхождения, которые поглощают примеси из газа или жидкости. Важнейшие из адсорбентов: активированные угли, силикагель, цеолиты, иониты.

Активированные угли – углеродные сорбенты (УС) необходимы для использования в промышленных процессах как высокоэффективное средство очистки, разделения и концентрирования, для решения экологических проблем, а также для защиты людей в чрезвычайных ситуациях.

В соответствии с основными областями применения АУ разделяют на следующие типы: сорбенты для адсорбции паров и газов; сорбенты для адсорбции из жидкой фазы; сорбенты – основа катализаторов и химических поглотителей.

Сорбционные методы очистки газовых выбросов, коммунальных и производственных сточных вод, ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов, подготовки воды природных источников для питьевого водоснабжения с применением углеродных сорбентов рассматриваются как наиболее эффективные методы охраны воздушного и водного бассейнов и экологической защиты населения. Эти методы обеспечивают удаление веществ, присутствующих в воде в небольших концентрациях, биологически не разрушаемых соединений, извлечение ценных компонентов, позволяют поглощать из парогазовой среды токсичные соединения и пары ценных растворителей.

Катализаторы на углеродных носителях способны работать в агрессивных средах и утилизироваться с извлечением ценных компонентов, что решает проблему промышленной реализации ряда каталитических процессов, осуществление которых невозможно при использовании катализаторов на традиционных минеральных носителях.

В последние годы в связи с загрязнением источников водоснабжения различными химическими веществами (фенолами, нефтепродуктами, пестицидами, поверхностно-активными веще-

ствами и др.), а также повышением требований к качеству питьевой воды, большие количества УС требуются для очистки питьевой и сточных вод. Сорбенты позволяют довести содержание токсичных веществ в сточных водах до концентраций, допускающих их сброс в водоемы общего пользования, а для питьевой воды улучшают органолептические показатели качества (устраняют неприятные привкусы, запахи, окраску), а также снижают концентрацию вредных химических веществ до допустимых норм.

Регионы размещения предприятий ТЭК, в первую очередь нефтедобывающих и нефтеперерабатывающих, являются одними из самых экологически неблагоприятных в России. Нефтедобывающие предприятия Западной Сибири и Крайнего Севера создают большую экологическую угрозу при аварийных разливах нефти в процессе ее добычи и транспортировки. Наиболее эффективным методом очистки водных и твердых поверхностей от нефти и нефтепродуктов признан сорбционный метод с применением сорбентов.

Широкое применение УС продиктовано доступностью сырья для их производства, относительно невысокой стоимостью, низким расходом в процессе, универсальностью, позволяющей получать УС для любого адсорбционного процесса, возможностью многократной регенерации без заметного ухудшения свойств.

УС могут быть получены из разнообразного углеродсодержащего сырья – древесины, антрацита, каменного и бурого угля, торфа. Для промышленного производства активированных углей во всем мире в качестве сырья чаще всего используют каменный уголь, скорлупу кокосовых орехов и древесину, причем до *70 % сырьевой базы составляют ископаемые угли* [26]. На основе ископаемых углей можно получать как дешевые адсорбенты одноразового действия, так и более дорогие гранулированные активированные угли с высокой механической прочностью и развитой системой микропор.

Одним из наиболее важных показателей всех трех типов углеродных сорбентов является их пористая структура.

Поры углеродных сорбентов классифицируются в соответствии с нормами Международного союза чистой и прикладной химии (IUPAC) на [27]:

- микропоры с размером менее 2,0 нм;
- мезопоры с размером 2–50 нм;
- макропоры с размером более 50 нм.

Микропоры, подразделяемые дополнительно на ультрамикропоры и супермикропоры (наиболее мелкие и крупные микропоры соответственно), – самая мелкая разновидность пор в структуре, по линейным размерам соизмеримая с размерами адсорбируемых молекул. Адсорбция в микропорах сводится к объемному заполнению их пространства. Микропоры играют наиболее важную роль в адсорбции газов и паров.

Более крупная разновидность пор – мезопоры играют главную роль при адсорбции крупных молекул из жидких сред. Основными параметрами мезопор являются удельная поверхность ($S_{\text{вд}}$) и объем пор; в зависимости от степени развития мезопор $S_{\text{вд}}$ мезопор изменяется в интервале 10–400 м²/г.

Самые крупные поры – макропоры не являются адсорбирующими, но играют роль транспортных каналов для доставки адсорбата (поглощаемое вещество) с внешней поверхности частицы (гранулы) сорбента к поверхности сорбирующих пор. Удельная поверхность макропор изменяется в пределах 0,5–5,0 м²/г.

Эффективность активного угля как адсорбента зависит от величины его доступной площади поверхности пор. Этот показатель у высококачественных активных углей может достигать 1500 м²/г. Благодаря очень большой площади внутренней поверхности активные угли являются прекрасными адсорбентами. Однако не вся эта площадь доступна для адсорбции, поскольку крупные молекулы адсорбируемых веществ не могут проникать в поры малого размера.

3.4.2. Получение активированных углей

Основной предпосылкой использования ископаемых углей в качестве сырья для получения адсорбентов является сравнительно легкое образование у них развитой пористой структуры. Получение адсорбентов из исходного угля включает карбонизацию, дробление карбонизата и его активацию.

Карбонизацией называется термическая обработка (обжиг) сырья при высокой температуре в инертной атмосфере без доступа воздуха. В результате получается уголь – карбонизат. Этот продукт обладает недостаточными адсорбционными свойствами, поскольку размеры его пор невелики и внутренняя площадь поверхности мала. Поэтому его подвергают предварительному дроблению и активации

для получения специфической структуры пор и улучшения адсорбционных свойств.

Предварительное дробление. Карбонизат имеет размер фракции 30–150 мм. Качественная активация таких больших кусков затруднена, поэтому карбонизат подвергают предварительному дроблению. Для эффективной активации размер фракции должен быть 4–10 мм.

Основной целью процесса активации является развитие структуры пор во всем объеме активируемой частицы, т. е. требуется создание условий реагирования углерода с газом-окислителем во всем объеме частицы. Процесс активации проводят двумя основными методами:

- химическая активация – обработка специальными химическими компонентами;
- паро-газовая активация обработка перегретым водяным паром или окисление газом.

Процесс химической активации заключается в обработке угля солями (карбонатами, сульфатами, нитратами) или кислотами (азотной, серной, фосфорной и др.). В этом случае при температуре 200–650 °С выделяется газ-активатор (например CO_2 или O_2).

Недостатками этого метода являются:

- большие количества экологически опасных стоков;
- коррозия аппаратуры;
- высокая стоимость получаемого сорбента.

Парогазовая активация производится при температуре 800–1000 °С в строго контролируемых условиях. При парогазовой активации в качестве окислительных агентов используют диоксид углерода и водяной пар.

Реакция углерода с паром катализируется оксидами и карбонатами щелочных металлов, поэтому их в небольших количествах иногда добавляют к исходному сырью при производстве активных углей.

Активация водяным паром позволяет получать угли с внутренней площадью поверхности до 1500 м² на грамм угля. Именно благодаря этой огромной площади внутренней поверхности активированные угли являются прекрасными адсорбентами.

Активные угли выпускаются промышленностью в трех различных формах: гранулированной в виде цилиндрических и сфериче-

ских гранул, дробленной (зерен неправильной формы) и порошкообразной. Крупность определена ГОСТом для различных марок активированных углей.

Россия обладает богатейшей сырьевой базой для производства сорбционных материалов. Отечественная сырьевая база для получения сорбционных материалов представлена углями разных технических характеристик, петрографического и элементного составов, пригодными для переработки по различным технологическим схемам с получением сорбентов широкого спектра действия. Исследования свойств углей разных стадий метаморфизма и различного петрографического состава как сырья для переработки в сорбционные материалы и систематизация результатов ранее опубликованных научных работ в этой области позволили установить, что стадия метаморфизма ископаемых углей предопределяет структурный тип сорбента на их основе, что, в свою очередь, обуславливает получение сорбентов с требуемой структурой пор и необходимыми адсорбционными свойствами путем подбора исходного сырья и технологии его переработки.

3.4.3. Требования к углям при производстве адсорбентов

Зольность углей является основным критерием их пригодности для производства углеродных сорбентов. Установлено, что зольная часть исходного угля в процессе получения сорбентов на его основе увеличивается в несколько раз за счет удаления летучих веществ на стадии карбонизации и обгара при взаимодействии углерода с газми-окислителями на стадии активации. При переработке высокозольного сырья зольность конечного продукта может достигать почти 50 %, делая его непригодным для использования в качестве сорбента, так как такой материал имеет низкую прочность и плохо развитую пористую структуру.

Высокое содержание золы является отрицательным показателем качества для использования АУ в пищевой, фармацевтической промышленности и в подготовке воды для питьевого водоснабжения. В зависимости от назначения сорбента зольность сырья для его получения *не должна превышать 5–8 %* [28].

Технологический процесс переработки сырья в УС предъявляет жесткие требования к содержанию в нем *азота и серы*, которые

при термообработке выделяются в составе продуктов пиролиза в виде экологически опасных оксидов серы и азота, что требует очистки газов перед сбросом в атмосферу. Допустимое содержание N и S в сырье менее 1,0 %.

При получении гранулированных сорбентов из слабоспекающихся газовых углей (технологическая группа 2Г) обязательным требованием к сырью является его *спекаемость*, определяемая по толщине пластического слоя (y , мм), которая должна находиться в пределах $9 < y < 5$ мм. Такая спекаемость обеспечивает образование прочных гранул и не приводит к их спеканию.

Высокие требования к прочности дробленых и гранулированных сорбентов, помимо зольности и спекаемости сырья, обеспечиваются, в том числе *петрографическими характеристиками* углей. Общее требование для углей всех стадий метаморфизма, используемых в процессах переработки в УС, – *содержание витринита*, которое не должно быть ниже 70 %.

При производстве углеродных адсорбентов используют угли марок Д, Г, ГЖО. Группы: 1Д, 1Г, 1ГЖО. Подгруппы: ДВ, 1ГВ, 1ГЖОВ, 2ГЖОВ, а также марки СС, Т. Группа 3СС, подгруппа 2ТФ.

Исследования переработки углей метаморфического ряда в различные углеродные сорбенты позволили установить, что на основе бурых углей возможно получение широкого ассортимента сорбционных материалов: порошковых, дробленых и гранулированных сорбентов. Характерным для буроугольных адсорбентов является наличие большого объема мезопор: по этому показателю они не имеют аналогов среди активных углей, выпускаемых промышленностью, что предполагает их высокую эффективность при адсорбции из растворов веществ с крупными размерами молекул.

Порошковый буроугольный сорбент обладает гидрофобными свойствами, имеет высокую эффективность в удалении нефти и нефтепродуктов с водной и твердой поверхностей. Дробленый сорбент на основе бурого угля обладает развитой мезопористой структурой и может быть успешно применен для очистки хозяйственно-бытовых, производственных и ливневых стоков от нефтепродуктов, красителей, ПАВ, пестицидов и др.

Модифицированный буроугольный карбонизат обладает хорошими молекулярно-ситовыми свойствами и может использоваться

для разделения воздуха с получением технически чистого азота. В ИГИ разработана технология получения углеродных молекулярных сит (УМС) на основе бурых углей Канско-Ачинского бассейна методом химической модификации продукта их термической переработки – дробленого карбонизата. Созданные узкопористые углеродные адсорбенты обладают молекулярно-ситовым действием по отношению к компонентам воздуха – азоту и кислороду. Исследования показали высокую эффективность разработанных УМС, что обуславливает целесообразность производства технически чистого азота из воздуха методом короткоциклового безнагревной адсорбции для создания инертной среды и обеспечения пожаро-, взрывобезопасных условий работы в угольных шахтах [26].

Обладая гидрофильными свойствами, бурый уголь легко гранулируется с водорастворимым связующим с получением гранул сферической формы, которые после термообработки по технологии получения адсорбента могут быть использованы как высококачественные гранулированные сорбенты и носители катализаторов для различных процессов.

На основе слабоспекающихся газовых углей разработаны уникальные технологии получения высококачественных гранулированных сорбентов сферической формы без применения связующих веществ. Было использовано природное свойство углей при термообработке – переходить в пластическое состояние без значительного вспучивания и далее спекаться в объеме отдельной, предварительно сформированной гранулы. В технологии получения сферических углеродных сорбентов широко используются методы их дополнительной обработки и модификации с целью получения углеродных сорбентов специального назначения, например высокопрочные, эффективные сорбенты для селективного извлечения благородных металлов из технологических растворов и пульп горнообогатительных предприятий.

3.5. Получение и использование сульфоуглей

Некоторые вещества, например, аммиак, диоксид серы, пары ртути, сероводород, формальдегид, хлор, цианистый водород, ионы металлов, плохо адсорбируются на поверхности обычных активированных углей. В сорбционном извлечении этих веществ, в

первую очередь ионов металлов, значение приобретают ионообменные процессы, поэтому необходимым условием для таких сорбентов (ионитов) является наличие у них ионообменных свойств, т. е. способности обменивать свои катионы (катиониты) или анионы (аниониты). Иониты твердые, практически нерастворимые природные или искусственные вещества. К ним относят сульфоугли (сульфокатиониты), которые предназначены для снижения щелочности и солесодержания воды, применяемой для питания паровых котлов; улучшения качества технологической воды путем извлечения из исходной воды катионов, оказывающих вредное влияние на технологический процесс или на качество продукции; извлечения катионов из промышленных вод и растворов, при извлечении цветных и редких металлов; для очистки растворов в пищевой промышленности.

Технология производства сульфоугля и схемы катионирования воды разработаны в России. Сульфоугли получают обработкой рядовых углей определенных марок дымящей серной кислотой (олеумом) при температуре 135–145 °С. Обработку углей ведут в точке максимальной температуры, достигаемой в результате экзотермического эффекта реакции [29]. Общая длительность реакции около 10 мин.

Наиболее правильным и точным методом подбора и характеристики сырья для получения сульфоуглей является оценка исходных углей *по степени метаморфизма и петрографическому составу*, так как обменная емкость их находится в прямолинейной зависимости от содержания в исходном материале микрокомпонентов группы *витринита*. Хорошо сульфатируются угли всех марок, однако промышленное значение имеют угли марок К, Ж, КЖ и ОС. Высокое содержание серы в углях не является отрицательным фактором при выборе сырья. В табл. 18 приведена характеристика углей, применяемых для производства сульфоуглей.

В настоящее время при очистке технологических вод нашли применение эффективные искусственные карбоксильные катиониты, импортируемые из-за границы. Синтетические катиониты обладают следующими достоинствами: повышенной равновесной объемной емкостью, высокими показателями по набухаемости и относительно высокой механической прочностью. К сожалению, они очень дорогостоящие (около 5,5 тыс. долл. США за тонну), что существенно затрудняет широкое промышленное использование таких материалов

[26].. Вследствие этого сульфуголь, полученный из углей, оказывается конкурентоспособным синтетическим катионитам.

Таблица 18

Характеристика углей для производства сульфуголей

Наименование показателей	Значение
Зольность A^d , %	10,9–18,1
Содержание серы S^d , %	2,8–2,9
Выход летучих веществ V^{daf} , %	22,7–25,5
Толщина пластического слоя y , мм	18–20
Элементный состав, масс. %:	
C^{daf}	88,7–89,0
H^{daf}	5,0–5,1
Марка угля	К, КЖ, Ж, ОС

Стоимость сульфуголя примерно в 7 раз ниже стоимости синтетического катионита, получаемого на основе стирола и дивинилбензола.

Основными качественными характеристиками сульфуголей являются рабочая обменная емкость, фракционный состав, насыпная плотность, коэффициент набухания и термостойкость.

Перспективность использования сульфокатионитов основана на возможности их регенерации и сравнительно низкой себестоимости.

3.6. Производство углещелочных реагентов

Бурые угли (низшая стадия метаморфизма) богаты гуминовыми кислотами. (Гуминовые кислоты не являются четко очерченным классом соединений, но представляют собой группу высокомолекулярных соединений, имеющих несколько различный состав, однако обладающих общим типом строения и общими свойствами). Исследование состава, свойств и возможностей использования гуминовых веществ, получаемых из бурых и окисленных в природных условиях каменных углей, позволило организовать небольшое по масштабам, но имеющее промышленное значение производство углещелочных реагентов (УЩР).

Технология производства УЩР основана на способности слабых водных растворов щелочей извлекать из бурых углей гуминовые кислоты. В отличие от некоторых бурых углей, органическое вещество каменных углей практически не способно растворяться ни в воде, ни в нейтральных органических растворителях (за исключением смоляных включений) или реагировать со слабыми водными растворами щелочей и минеральных кислот.

Впервые УЩР были применены в нашей стране для обработки растворов, используемых в буровой технике, взамен карбоксилметилцеллюлозы и других дорогостоящих химических продуктов. При обработке УЩР глинистых промывочных жидкостей ускоряется проходжение скважин, предотвращаются обвалы и набухание пластов, уменьшается фильтрация жидкой фазы. В этом отношении УЩР обладают существенным преимуществом по сравнению с другими реагентами. Они способны в течение 30 мин снизить водоотдачу промывочных жидкостей до 5 см^3 даже в условиях применения морской воды и малоколлоидных глин, которые в необработанном виде имеют водоотдачу свыше 30 см^3 . Благодаря этому УЩР широко применяют на морских промыслах [26].

3.7. Производство гуминовых стимуляторов роста растений

Содержание гуминовых кислот в бурых углях меняется в широких пределах (5–80 %) в зависимости от условий залегания углей и других факторов.

Водорастворимые гуминовые препараты, получаемые из углей, используют в сельском хозяйстве для повышения урожайности сельскохозяйственных культур. В частности гуматы натрия – экологически чистые, безвредные биологические стимуляторы роста и развития растений. Гуматы натрия снижают действие ядовитых химических веществ на растения, уменьшают накопление их в растительной массе, в плодах и овощах. Они увеличивают всхожесть семян и энергию их прорастания, способствуют приживаемости рассады и растений при пересадке, ускоряют рост и развитие растений.

Получение гуминовых стимуляторов роста растений из бурых углей заключается в их взаимодействии со щелочью. Такая технология приводит к получению так называемых балластных гуматов, содержащих до 70 % остаточного угля. Применение балластных гума-

тов создает трудности, связанные с засорением почвы, особенно в условиях защищенного грунта и с возможным самовозгоранием товарной продукции при хранении. Балластные препараты гуматов в ограниченном количестве выпускаются и за рубежом – в Венгрии, Италии, США, Японии, главным образом, путем переработки торфов.

Наиболее перспективной является российская технология получения безбалластных гуматов натрия, применение которых устраняет отмеченные выше недостатки [30]. В табл. 19 представлены данные влияния безбалластных гуматов натрия на повышение урожайности отдельных сельскохозяйственных культур [30].

Таблица 19

Повышение урожайности сельскохозяйственных культур
при применении безбалластных гуматов натрия

Сельскохозяйственная культура	Рост урожайности, % к контролю
Открытый грунт	
Ранняя капуста	10,3–35,0
Кукуруза на зеленую массу	12,0–20,0
Кормовая свекла	12,8–20,9
Рапс	26,2–28,3
Многолетние травы	21,0–25,9
Морковь	20,0–26,4
Огурцы	12,5–26,2
Томаты	18,2–24,3
Пшеница	11,0–14,2
Гречиха	13,9–31,7
Просо	14,0–26,5
Горох	15,5–17,8
Подсолнечник	13,8–22,6
Закрытый грунт	
Огурцы	12,5–36,0
Томаты	16,5–25,0

Вопросы для самопроверки

- 1. Какие марки углей можно использовать для получения жидкого топлива?*
- 2. Почему водоугольную суспензию относят к экологически чистому топливу?*
- 3. В чем заключается идея подземной газификации углей?*
- 4. Как называется продукт, получаемый из угля, сжигаемого в пласте подземным способом?*
- 5. В каких случаях целесообразно осуществлять подземную газификацию угля?*
- 6. Назовите область применения активированных углей и сульфоуглей.*

4. ОКУСКОВАНИЕ УГОЛЬНОЙ МЕЛОЧИ

4.1. Назначение и способы окускования угольной мелочи

Согласно потребительским стандартам угольное топливо для потребителей со слоевой системой сжигания должно иметь высокую теплоту сгорания и равномерный состав (размер кусков не менее 13 мм). Эти показатели оказывают существенное влияние на КПД печей и экономическую эффективность использования топлива. Однако в настоящее время выпуск высококачественного угля недостаточен. Повышенное содержание мелочи в несортированном рядовом угле способствует развитию кратерного горения топлива, в результате зона горения топлива уменьшается, увеличивается потеря тепла от механического недожога и снижается производительность пароагрегата. Кроме этого происходят большие потери топлива в виде просыпи под колосники и угольной пыли, уносимой с дымовыми газами, что, в свою очередь, существенно увеличивает загрязнение окружающей среды.

В России для жилищно-коммунального хозяйства используется 15–20 % от общей добычи угля. Годовая потребность в сортовом топливе (кусках угля определенного размера) в настоящее время достигает 75–77 млн т в год, в том числе для населения – до 40 млн т, при этом имеет место стойкий дефицит, который сохранится в перспективе, если не будут приняты меры по его снижению [31].

Количество угольной мелочи при добыче рядового угля возрастает с каждым годом, что обуславливается ухудшением горно-геологических условий залегания и использованием механизированных комплексов. Например, при добыче с применением узкозахватных угольных комбайнов образуется значительное количество мелких угольных частиц. Кроме этого, усложнение схем транспортирования в шахтах и на поверхности также вызывает увеличение количества угольной мелочи, выход которой составляет 70–80 % от всей массы добываемого угля [32]. Ресурсы сортового топлива можно увеличить на стадиях добычи угля. Это достигается внедрением угледобывающих механизмов, обеспечивающих повышенный выход крупных классов угля, например применение прогрессивных конструкций рабочих органов комбайнов, гидроотбойников, снижение ступенчатости и длины транспортных линий угля, изменение

технологии складирования, погрузки и разгрузки угля и др. Однако эти мероприятия капиталоемкие, не имеют надежного технологического обеспечения и экономического обоснования.

Необходимо отдельно сказать об огромном количестве шламов, скопившихся за много лет работы шахт и обогатительных фабрик, которые практически нетронутыми находятся и по сегодняшний день, особенно высокозольные. В Кузбассе, например, сегодня в шламовых отстойниках практически не используются около 30 млн. т шламов, что наносит серьезный экономический и экологический ущерб [32]. Поэтому проблема использования шламов ждет своего решения.

Каменноугольная мелочь дешевле сортового угля в 1,5–1,8 раза, однако, требуется разработка и внедрение эффективных способов получения из нее высококачественной продукции для бытового и промышленного потребления. Одним из таких способов является окускование каменноугольной мелочи.

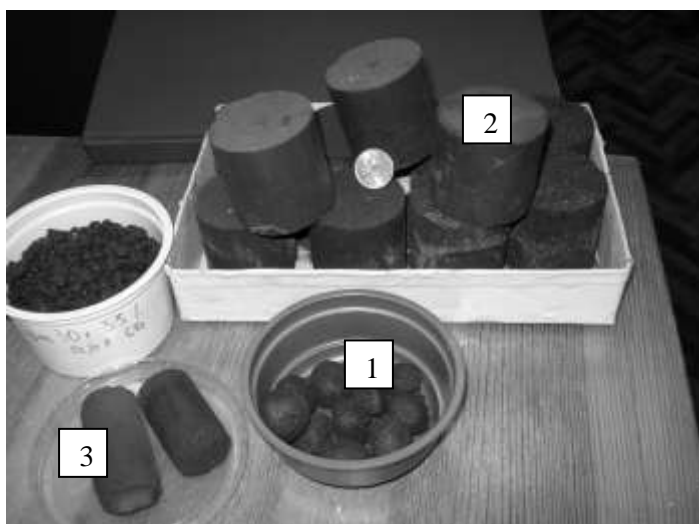
Окускование – это превращение мелкозернистых полезных ископаемых в кусковой товарный продукт, имеющий определенную геометрическую форму, размеры и массу за счет механических и термических воздействий с применением специальных добавок или без них. Окускование каменноугольной мелочи – одно из перспективных производств, обеспечивающих высокий потенциал топливно-энергетического комплекса, металлургии черных и цветных металлов, утилизации шламов добычи и переработки угля и т. д. Окускованное топливо, в зависимости от назначения, должно удовлетворять следующим требованиям:

- быть экологически чистым при сгорании (отсутствие дыма, оксидов серы и других вредных выбросов);
- иметь высокую теплотворную способность;
- иметь агрегативную устойчивость при нагреве и горении;
- обладать «атмосферостойкостью» (не разрушаться от температурных воздействий и атмосферных осадков);
- обладать механической прочностью, выдерживая достаточно высокое сопротивление удару, и сохранять форму при транспортировке;
- содержать минимальное количество влаги, наличие которой требует дополнительного расхода тепла на испарение.

Производство окускованного твердого топлива позволяет:

- получить высокосортное и транспортабельное топливо улучшенного качества;
- сократить потери угля при хранении, перевозках и сжигании;
- предотвратить самовозгорание углей;
- привлечь для коксования дополнительные ресурсы неспекающихся марок углей.

В настоящее время существует несколько методов переработки угольной мелочи в твердый товарный продукт: получение гранул с помощью омасливания, брикетирование и пелетирование. В результате этих процессов получают конечные продукты гранулы, брикеты и пелеты, соответственно (рис. 7).



*Рис. 7. Виды
окускованной
угольной мелочи:*

- 1 – гранулы;*
- 2 – брикеты;*
- 3 – пелеты*

4.2. Брикетирование

История отечественного углебрикетного производства берет свое начало в середине XIX столетия. В 1870 году в Одессе была сооружена первая брикетная фабрика, выпускавшая антрацитовые брикеты для судов торгового флота. Впоследствии были введены в эксплуатацию каменноугольные и буроугольные брикетные фабрики и установки в системе топливной промышленности.

Существуют два основных способа брикетирования топливной мелочи: с добавкой связующих веществ обычно при давлениях прессования 15–25 МПа для каменных углей, и без связующих при повышенных давлениях (выше 75 МПа), для бурых углей [33].

4.2.1. Брикетирование со связующим

Достоинства процесса брикетирования со связующим:

- более высокая теплота сгорания;
- механически прочные брикеты при длительном хранении;
- не рассыпаются в топке до полного сгорания.

Недостатки:

- более сложная технология;
- необходимость добавления связующего.

Для брикетирования используют угли марок Д, Г, Т и А, а также марки, используемые для коксования, К, Ж, ОС, СС. По назначению брикеты бывают бытовыми и промышленными. Основными потребителями бытовых брикетов является население. Эти брикеты могут быть любой округлой формы массой 30–500 г. Бытовые брикеты могут быть расфасованы в мешки различной массы. Промышленные брикеты используют в топках для слоевого сжигания и в качестве сырья для коксования каменных углей, могут выполнять функцию теплоизоляционного материала, заменяя дефицитный графит, применяют в качестве основного материала для получения различных видов электродов. Форма промышленных брикетов округлая, кирпичеобразная, кубическая и др. Качество каменноугольных брикетов характеризуется следующими показателями: влажность 4–6 %, зольность 11–17 %, теплота сгорания 6400–6500 ккал/кг [32].

Брикетная фабрика – это механизированный промышленный комплекс со зданиями и сооружениями, насыщенными специальным оборудованием, позволяющим обеспечить подготовку, дозировку, смешение и прессование брикетируемых материалов; охлаждение, погрузку и складирование готовых брикетов.

Технология брикетирования каменноугольной мелочи и антрацита зависит от вида применяемой связующей добавки – каменноугольного пека (твердого связующего) или нефтебитума (жидкого связующего) и сводится к следующему [33]: исходный уголь (крупностью не более 6 мм) подсушивают, смешивают со связующим веществом в паровом смесителе (малаксере). Здесь за счет тепла, вводимого паром, связующее поддерживается в текучем состоянии, покрывает поверхности угольных частиц. На выходе из малаксера смесь имеет температуру порядка 95 °С. Для сокращения времени

затвердевания связующего в брикете смесь частично охлаждают и направляют для прессования в вальцевый пресс.

После прессования брикеты охлаждают до 25–40 °С (зависит от расхода связующего) и подвергают грохочению для отсева неспрессовавшейся мелочи и боя, последние возвращают в процесс брикетирования. Готовые брикеты отправляют на склад или отгружают потребителю. Технологическая схема брикетирования с нефтебитумом представлена на рис. 8 [34].

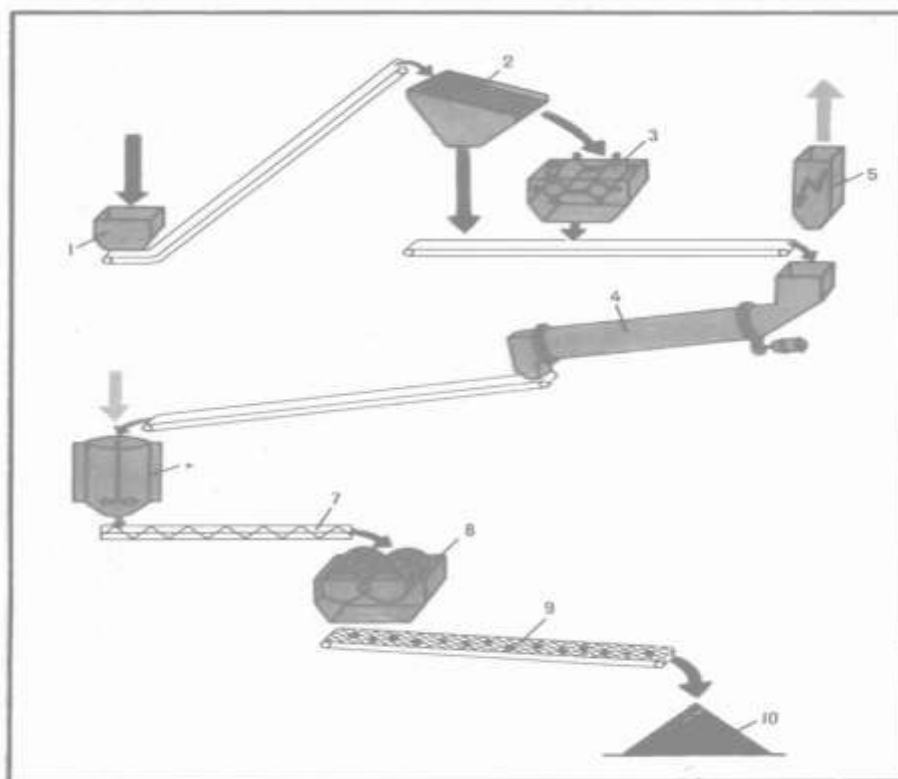


Рис. 8. Брикетирование каменного угля со связующим:

1 – приемный бункер исходного сырья; 2 – грохочение; 3 – дробление надрешетного продукта; 4 – сушка угольной мелочи в трубе-сушилке; 5 – очистка дымовых газов; 6 – дозировка и смешивание с разогретым жидким связующим в малаксере; 7 – транспортирующий шнековый смеситель; 8 – вальцевый пресс; 9 – отсев мелочи и охлаждение готовых брикетов; 10 – склад готовой продукции

Машина для брикетирования каменноугольной мелочи – брикетный вальцевый пресс. Основной рабочий орган вальцевого прессы пара валков. Прессование шихты происходит в пространстве между вращающимися навстречу друг другу валками (рис. 9 и 10).

Смесь каменноугольной мелочи и связующего подается сверху в зазор между синхронно вращающимися навстречу друг другу валками. Загружаемый материал уплотняется в зазоре. Поверхность валков выполняется в виде лунок таким образом, чтобы при формовании материала обеспечивалась яйцевидная или подушечная форма брикета.

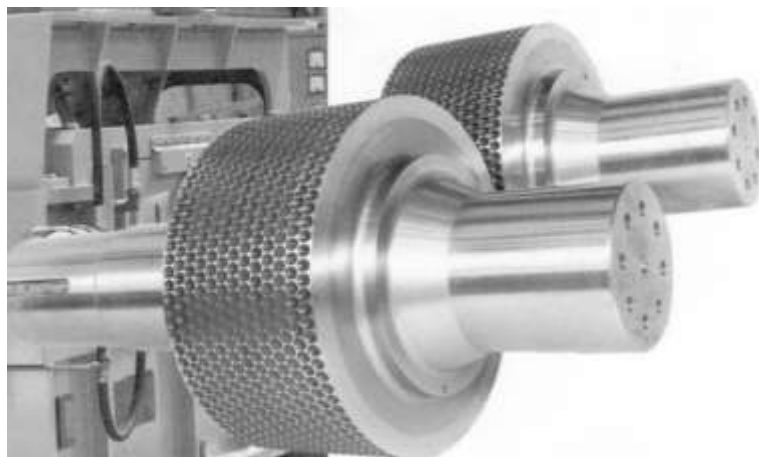
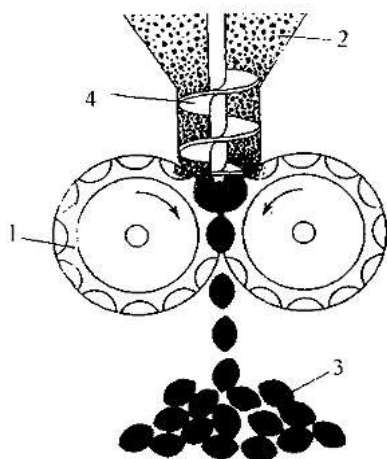


Рис. 9. Внешний вид рабочих валков вальцевого прессы



*Рис. 10. Схема формования брикетов на вальцевом прессы:
1 – валки; 2 – смесь каменноугольной мелочи и связующего;
3 – готовые брикеты; 4 – шнековый питатель (вертикальный шнек-подпрессовщик)*

Для повышения давления прессования, сокращения расхода связующих и улучшения физико-механических свойств брикетов над валками устанавливают дозаторы-подпрессовщики (вертикальные шнеки-подпрессовщики), обеспечивающие предварительное уплотнение брикетной шихты и повышающие давление до 100 МПа. Производительность (по угольным брикетам) до 80 т/ч.

Связующее в жидком виде имеет ряд преимуществ по сравнению с твердым. Оно легко диспергируется, образуя тонкослойное пленочное покрытие на поверхности угольных частиц. Наиболее эффективно процесс происходит при рабочей температуре 180–200 °С. При использовании каменноугольного пека необходимо перевести твердое связующее в вязкотекучее состояние. Рабочая температура подогрева достигает 220 °С. Необходимо отметить, что нефтебитумы и каменноугольные пеки дефицитны и дороги, кроме того, нефтебитумы – это высокотоксичные вещества, а пеки – высококанцерогенные.

Таким образом, существующая технология брикетирования требует значительных капитальных затрат, имеет высокую энергоемкость, экологически опасна, а санитарно-гигиенические условия труда при ее применении далеки от предъявляемых требований. Вследствие этих причин в России в настоящее время, к сожалению, нет ни одной фабрики по брикетированию каменных углей. Бурые угли брикетируются на единственной фабрике в Кумертау, окускование торфа снизилось по различным причинам.

В Китае применяется технология брикетирования шламов и мелкого каменного угля с помощью примешивания к брикетируемой массе глины в качестве связующего. Добавка глины в значительной степени повышает зольность, снижает тепловые свойства брикетов, увеличивает выход зольного остатка после сжигания, требует энергетических затрат при обжиге брикетов [32].

В Японии освоена технология брикетирования каменного угля совместно с опилками и дробленой корой хвойных пород деревьев. Из коры при нагревании выделяется смола, которая и является связующим веществом при прессовании брикетов. Эта технология требует предварительной сушки и измельчения угля, что достаточно энергоемко и экологически опасно. Механическая прочность получаемых брикетов весьма низкая, хотя давление прессования смеси составляет 30–40 МПа. Поэтому необходимы специальные условия упаковки, погрузки, транспортировки и разгрузки брикетов, что влияет на их стоимость [32].

В Великобритании, Бельгии, Австралии и других странах в свое время были разработаны способы производства бездымного топлива сущность которых заключается в термоокислительной обработке брикетов из угольной мелочи с каменноугольной смолой

[32]. Методы термоокислительной обработки брикетов со связующим дают возможность получить прочное термоустойчивое топливо. Но эти технологии требовали значительных капитальных затрат, имели высокую энергоемкость, дефицитные связующие вещества, являлись экологически опасными и поэтому не нашли широкого распространения.

Известна технология и оборудование для производства бытовых топливных угольных брикетов, зажигаемых от спички [34]. В состав брикетов, полученных на базе углей Печорского, Кузнецкого, Тувинского месторождений, помимо основного компонента – угля, входят связующие и окислитель в соответствующих пропорциях, для основного и зажигательного слоев брикета. В качестве связующего используются дешевые продукты, являющиеся отходами других отраслей промышленности. Причем тип связующего может быть экспериментально подобран с учетом возможностей региона, в котором предполагается организовать выпуск брикетов.

В качестве окислителя испытаны различные химические соединения, в том числе те, которые дают минимальное дымообразование, а в качестве связующего – органические и неорганические вещества. Первые повышают калорийность брикетов, а вторые их прочность.

Рецептура брикетов определяется физико-механическими свойствами углей, связующего и окислителя. Предпочтительная масса одного брикета от 0,2 до 1 кг. Потребительские свойства брикетов зависят от марки, качества углей и состава связующего, свойств добавок, если они используются. Опытные партии брикетов, например, имеют следующие характеристики: относительная влажность – 1–3 %; время горения – 120–140 минут для брикетов массой 220 г; усилие разрушения (на раздавливание) брикетов 6–18 кН; температура горения – 500–570 °С.

Технология производства брикетов на основе использования связующего позволяет на порядок снизить давление прессования, которое принимается не более 8 МПа, что резко снижает энергопотребление в процессе прессования брикетов, пожароопасность в цехе, стоимость прессующего оборудования, существенно улучшает условия труда обслуживающего персонала и экологическую ситуацию в зоне производства.

В мировой практике одним из основных направлений получения высококачественного окускованного топлива является производство термобрикетов, получаемых «горячим» прессованием, основанное на способности некоторых марок углей при определенных температурах размягчаться и переходить в пластическое состояние, при котором они могут брикетироваться. Термобрикеты получают за счет взаимодействия химических продуктов термической деструкции углей с высоким выходом летучих и поверхности нагретых угольных частиц при наложении механических усилий, сближающих эти частицы. Специальные связующие вещества в процессе не требуются, так как перед прессованием производится нагрев угольной массы, часть летучих веществ «отгоняется», а оставшиеся высокотемпературные продукты являются связующей основой термобрикетов. Выделившиеся химические продукты, как правило, сжигаются, и получаемое тепло используется в процессе нагрева исходного угля.

По этому способу получают бездымное топливо румхит и хомфайр в Великобритании. Процесс получения брикетов заключается в нагреве мелочи спекающихся или слабоспекающихся марок углей в кипящем слое до температуры 420–450 °С и в последующем брикетировании ее полупластического состояния на валковом или штемпельном прессах [32].

4.2.2. Связующие вещества для брикетирования

Вещества, способные соединять разобщенные твердые тела и сохранять их прочный контакт в условиях значительных внешних воздействий, называются связующими.

Связующие могут быть органического и неорганического происхождения и комбинированные, рис. 11.

Связующие должны удовлетворять следующим требованиям:

- иметь высокую поверхностную активность, максимально смачивать твердую поверхность материала, обеспечивая прочную связь;
- быть устойчивыми к атмосферным осадкам, температуре, действию солнечных лучей, окислению и т. п.;
- не разрушать структуру субстрата в готовом брикете; иметь эластичные и пластические свойства;

– обладать высокой прочностью, но не быть жестче склеиваемого материала. В противном случае внешняя нагрузка может привести к разрушению соединения из-за неравномерной концентрации напряжений;



Рис. 11. Виды связующего для брикетирования углей

– не допускать возникновения в отвердевшем связующем высоких внутренних напряжений, способных к разрушению клеевого соединения;

– иметь высокую скорость отвердения;

– не содержать летучих соединений, с токсическим действием на организм человека;

– содержать достаточную долю спекающихся компонентов, обеспечивающих термическую стойкость брикетов при горении;

– обеспечивать полную теплоустойчивость брикетов при повышенных летних и низких зимних температурах;

– иметь высокую теплоту сгорания и малый выход летучих веществ;

- обладать низкой температурой воспламенения;
- быть недефицитными и дешевыми;
- отличаться стойкостью при хранении, удобное транспортирование.

Связующие органического происхождения. Наиболее распространенными связующими органического происхождения являются соединения, полученные при химической переработки нефти, угля, сланцев и других природных полимеров с молекулярной массой тысяча и более. Наибольшее распространение нашли масла, смолы, асфальтены, крекинг-остатки, каменноугольный пек, которые чаще всего высокотоксичные и оказывают негативное влияние на окружающую среду (т. к. предполагают нагревание, чтобы перевести их в вязко-текучее состояние). В зависимости от температурных и механических воздействий они могут находиться в трех агрегатных состояниях: стеклообразном, высокоэластичном и текучем.

Нефтесвязующие – представляют собой тяжелый остаток от переработки смолистых нефтей, обладающий характерными свойствами высоко молекулярных соединений. Нефтесвязующие при температуре окружающего воздуха находятся в твердом состоянии. Имеют цвет от черного до темно-бурого.

Каменноугольный пек (КУП). Это твердый, хрупкий продукт черного цвета с раковистым изломом. Он относится к тяжелым остаткам перегонки каменноугольной смолы коксования, полученным при температуре 360–380 °С. В химическом отношении это сложная структурированная гетерогенная система. Наиболее важные для технологии брикетирования являются такие свойства КУП, как плотность, вязкость, поверхностное натяжение, смачиваемость, спекаемость, термостабильность, способность образовывать коксовый остаток. Эти свойства у КУП с различной температурой размягчения (60–300 °С) не одинаковы и зависят от качества сырья и условий получения КУП. Наибольшее применение для окускования угольной мелочи находят КУП с температурой размягчения 70–90 °С. Токсичность каменноугольного пека ограничивает его область применения при брикетировании. Снижение вредного действия пека достигается термической обработкой брикетов.

Сульфит-спиртовая барда (ССБ). Это побочный продукт (отход) при переработке измельченной древесины на целлюлозу, содержащий не более 20–30 % воды. В химическом отношении высо-

кая вяжущая способность ССБ обусловлена наличием кальциевых, натриевых и аммониевых солей лигносульфоновых кислот – активных ПАВ.

Для ВМС связующих характерно резкое снижение вязкости при механическом и тепловом воздействиях с последующим ее возрастанием при наступлении покоя.

Спекающие свойства связующих характеризуют их термическую устойчивость в период воздействия высоких температур. Спекаемость – особенность связующих, проявляющаяся в их способности образовывать коксовую сетку, не допускающую распад брикетов.

Неорганические связующие. Связующие неорганического (минерального) происхождения, как правило, вступают с брикетиремым полезным ископаемым в химическую реакцию. Интенсивность структурообразования зависит от скорости и полноты химических реакций, а также давления прессования. В качестве минеральных связующих наибольшее распространение нашли известь, растворимое (жидкое) стекло, цементы, каустический магнезит и доломит, глины, гипс и др.

Комбинированные связующие. Комбинированные связующие – это соединения, свойства которых направленно изменены. Комбинированные связующие позволяют использовать материалы, обладающие ограниченными клеящими возможностями. Объединение таких веществ в определенных пропорциях позволяет получить связующие со строго заданными свойствами.

Отдельные компоненты комбинированных связующих должны иметь несовпадающие температурные интервалы размягчения; легко смешиваться друг с другом; обладать хорошей сыпучестью или текучестью для обеспечения точного дозирования; соответствовать оптимальным значениям специфического свойства, недостающего остальным компонентам; обеспечивать в совокупности высокие механические, термические и физико-химические свойства брикетов; не вносить вредных примесей в состав брикетной шихты.

Комбинированные связующие на основе неорганических веществ применяют для брикетирования руд черных и цветных металлов. Для брикетирования угля используют комбинированные связующие на основе органических соединений, а также с добавками цементирующих неорганических связующих.

При смешении каменноугольного пека или нефтяного битума с сульфит-спиртовой бардой или сульфитным щелоком в соотношении (1–2):(5–6) получают качественные угольные и рудные брикеты [33]. Эти органические связующие можно смешивать с кальцинированной содой, каустическим магнезитом, растворимым стеклом, мергелем и другими добавками.

Среди ряда связующих, применяемых в практике углебрикетного производства, битумные и каменноугольные пеки являются наиболее эффективными по технологическим параметрам, обеспечивающие высокую прочность и калорийность угольных брикетов. Но одни дороги, а другие обладают канцерогенными свойствами. Брикетирование каменноугольной мелочи также включает термическую обработку связующего и угольной шихты.

4.3. Получение топливных гранул

Одним из перспективных методов окускования каменноугольной мелочи и шламов является гранулирование методом окатывания. Гранулирование определяется как агломерационный процесс, где тонкие частицы материала образуются в гранулы в присутствии влаги или с помощью омасливания.

Гранулирование методом окатывания состоит в предварительном образовании агломератов из равномерно смоченных частиц или в насаивании сухих частиц на смоченные ядра – центры гранулообразования. Этот процесс обусловлен действием капиллярно-адсорбционных сил сцепления между частицами и последующим уплотнением структуры, за счет сил взаимодействия между частицами в плотном динамическом слое, например в грануляторе барабанного типа.

Процесс гранулирования методом окатывания состоит из четырех стадий [35]:

- смешение исходной угольной мелочи с частицами ретура и связующим;
- образование гранул из мелких частиц и дробление комков;
- окатывание и уплотнение гранул в результате их перемещения по поверхности аппарата;
- упрочнение связей в результате перехода жидкой фазы в твердую, т. е. стабилизация структуры гранулы.

На всех стадиях происходит изменение распределения частиц по размерам, т. е. идет процесс гранулообразования, интенсивность которого зависит от технологии, аппаратного оформления процесса гранулирования и свойств угля.

Стадии смешения и образования гранул. В качестве связующего применяют различные жидкости, способствующие сцеплению частиц. Чаще всего – это дешевые доступные вещества, используемые в технологии получения данного продукта (вода, раствор продукта, плав одного из компонентов и т. п.). Иногда используют смолы, бентонит, глину, гипс и другие инертные связующие или вещества, способствующие затвердеванию (кристаллизации, полимеризации и т. п.). Для гранулирования каменноугольной мелочи в качестве связующего применяют нефтепродукты, расход которых весьма значителен, но при этом получают топливные гранулы с низкой зольностью: полярные связующие селективно адсорбируются на угольных частицах.

Порошок, подаваемый на гранулирование, как правило, имеет однородный гранулометрический состав. Крупные частицы поступают с ретуром, отсеянным от продукта, прошедшего обкатку и сушку. Имея разную структуру, частицы ретура и мелочи по-разному смачиваются связующим. В общем случае скорость капиллярного всасывания определяется свойствами жидкости (вязкостью, плотностью, поверхностным натяжением) и материала (радиусом капилляров, природой вещества, состоянием его поверхности). Процесс образования зародыша и формирования гранулы при подаче в гранулятор жидкости можно представить следующим образом. Капля воды, попавшая в слой материала, под воздействием капиллярных сил сразу же начинает распространяться во все стороны, заполняя поры между отдельными частицами. Предельный размер образующихся комочков прямо пропорционален величине капли и обратно пропорционален пористости слоя материала. Вода перестает распространяться в сыпучем материале, как только комочек достигнет максимальной капиллярной влагоемкости. Это время измеряется несколькими секундами. Для увлажнения частиц ретура требуется значительно больше времени.

Изменение характера влагопоглощения с течением времени объясняется, по-видимому, тем, что вначале влага поглощается поверхностным слоем гранул под воздействием капиллярных сил. По

мере насыщения этого слоя влага продвигается внутрь гранулы, где имеются не только открытые, но и закрытые поры, заполненные воздухом. Дальнейшее поглощение влаги резко замедляется и лимитируется растворением воздуха в жидкой фазе. Чем выше влагосодержание мелочи, тем быстрее насыщается поверхностный слой гранул и тем быстрее наступает переход от одного характера: влагопоглощения к другому. При увлажнении одновременно происходит и уплотнение мелочи под действием капиллярных сил. Чем мельче частицы и больше поверхностное натяжение жидкости, тем плотнее агломерат. Образовавшийся агломерат далее уплотняется при окатывании.

Стадия окатывания. Уплотнение частиц методом окатывания достигается, в основном, при ударе о неподвижный слой материала или о стенку гранулятора. В этот момент большая часть кинетической энергии, которую приобрел комок при скатывании вниз, расходуется на перемещение зерен и уплотнение гранулы.

Комочки в результате многократных ссыпаний и ударов уплотняются, отдельные частички, перемещаясь, укладываются более плотно. При этом избыточная влага выдавливается на поверхность комочка, в результате чего становится возможным дальнейшее присоединение к такому комку сухих частичек. По мере приближения частичек друг к другу толщина пленок связанной воды становится все меньше, прочность сцепления увеличивается. Сближение частичек вследствие уменьшения толщины адсорбированных пленок возможно только в том случае, когда избыток воды поглощается, например, в результате присоединения новых частичек к поверхности или поступления влаги вовнутрь гранулы. При работе гранулятора внутри комка создается определенная минимальная толщина водных пленок, соответствующая величине динамических нагрузок. Как только эта толщина достигается, дальнейшее выделение воды на поверхность комка прекращается, гранула перестает расти, ее прочность становится максимальной для данного режима. Присутствие в шихте сухих плотных частиц ретурра приводит к тому, что влага не только выдавливается на поверхность, но и всасывается вовнутрь. При одинаковых интенсивностях этих процессов гранулы не растут, а при преобладании всасывания над другими процессами может происходить измельчение гранул, поскольку ослабляются связи между частицами. Для дальнейшего увеличения

размера гранул накатыванием следует вводить извне на их поверхность дополнительное количество жидкости. При значительном содержании ретура в шихте и одноразовом увлажнении на его поверхности создается временный избыток жидкой фазы, в результате чего происходит рост гранул, хотя данного количества жидкости явно недостаточно для устойчивого ведения процесса гранулирования. В дальнейшем частицы ретура продолжают поглощать жидкость; по истечении определенного времени на поверхности частиц ретура жидкости уже не хватает, и агломераты разрушаются. Одноразовое введение требуемого количества жидкости приводит к чрезмерному увеличению влажности шихты и образованию крупных агломератов. Следовательно, для получения гранул требуемого размера шихту надо увлажнять постепенно с учетом кинетики влагопоглощения. Как правило, время насыщения гранул влагой значительно превышает время, необходимое для окатывания гранул при выбранных динамических нагрузках. Для поддержания на поверхности гранул оптимальной влажности следует увлажнять шихту весь период окатывания.

Стадия стабилизации структуры гранул. Связи между частицами, уплотненными и процессе окатывания, в значительной мере обусловлены силами поверхностного натяжения жидкости. Эти связи обеспечивают достаточную пластичность материалу и позволяют в широких пределах изменять форму гранулы без ее разрушения. Для получения готового продукта необходимо упрочнить связи, придав большую жесткость полученной структуре, что достигается удалением жидкой фазы или переводом ее в твердую фазу. Одним из наиболее распространенных способов упрочнения гранул является сушка. При удалении влаги из растворимых в ней материалов одновременно происходит и кристаллизации твердой фазы.

Для гранулирования используют барабанные и тарельчатые грануляторы [35, 36].

Барабанный гранулятор (рис. 12) представляет собой цилиндр, наклоненный под углом $1-3^\circ$ к горизонту для облегчения перемещения материала в сторону выгрузки. На корпусе барабана закреплены бандажи и венцовая шестерня, через которую передается крутящий момент от электродвигателя. С торцов барабан снабжен загрузочной и разгрузочной камерами, герметизирующими рабочий объем гранулятора. Через загрузочную точку вводится исходная

шихта или сухая угольная мелочь. В последнем случае для подачи связующего в головной части барабана над слоем материала установлены распределители жидкости. Как правило, одновременно с исходным сырьем подается ретур (готовые мелкие гранулы) в количестве 20–25 % от готовой продукции, который служит центрами гранулообразования.

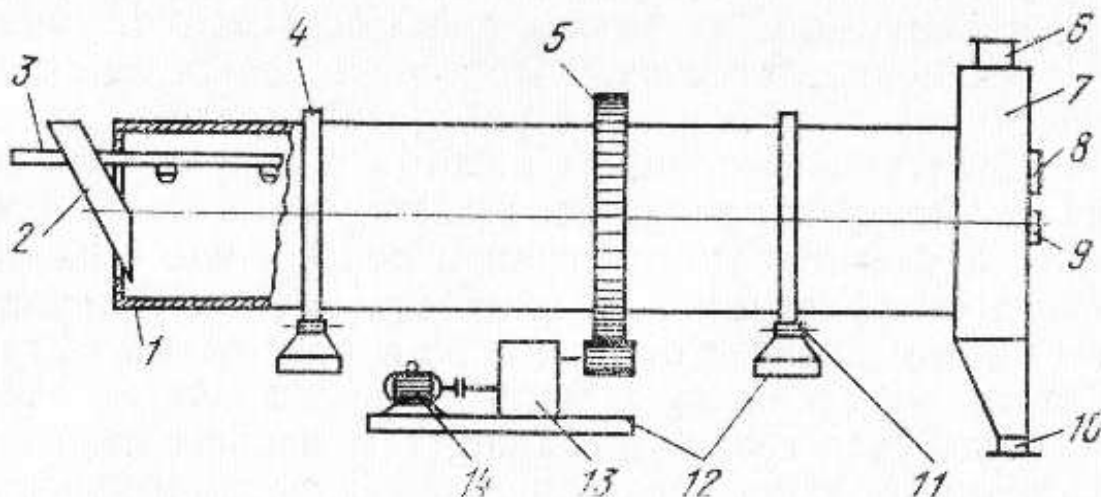


Рис. 12. Барабанный гранулятор:

1 – барабан; 2 – течка для загрузки угольной мелочи; 3 – распределитель связующего; 4 – бандаж; 5 – венцовая шестерня; 6 – патрубок для отсоса паров; 7 – камера выгрузки; 8 – окно для подсветки; 9 – смотровое окно; 10 – патрубок для выгрузки гранул; 11 – опорный ролик; 12 – бетонное основание; 13 – редуктор; 14 – электродвигатель

К распределителям жидкости предъявляют следующие требования: простота конструкции, равномерность распределения, возможность регулирования дисперсности распыла, возможность очистки во время эксплуатации.

Частота вращения барабана – от 5 до 30 об/мин. Для увеличения высоты подъема материала и предотвращения образования комков, а, следовательно, интенсификации процесса окатывания применяют насадки, которые устанавливают на некоторой части или на всем пути движения материала в барабане. Насадки представляют собой неподвижные или вращающиеся лопасти.

Для диспергирования жидкости применяют пневматические форсунки внутреннего и внешнего смещения, работу которых регулируют изменением давления распыливающего агента. Форсунки, располагают обычно со стороны загрузки.

Барабанные грануляторы характеризуются высокой производительностью (30–70 т/ч), простотой конструкции, надежностью в работе, относительно небольшими удельными энергозатратами. Одновременно им присущи недостатки: высокая полидисперсность гранулята, невозможность управления процессом гранулообразования. Барабанные грануляторы не обеспечивают визуальный контроль производства. В этих аппаратах иногда происходит нарушение процесса гранулообразования с образованием очень крупных гранул.

Тарельчатые, или дисковые, грануляторы (рис. 13) – это вращающаяся тарель с бортами, расположенными перпендикулярно к днищу, установленная под углом 40–60° к горизонту. Дну тарели придают эллиптическую форму для увеличения траектории гранулы, что интенсифицирует процесс. К тарели подводится форсунка, через которую поступает связующее, но может происходить и сухое окатывание, которое часто сопровождается пылением. В последнем случае целесообразно подавать либо полидисперсный исходный материал, либо вводить ретур. Поэтому в большинстве случаев окатывание осуществляется по схеме влажного гранулирования, со связующим. Окатывание материала происходит на днище тарели. Вследствие силы трения комки поднимаются на некоторую высоту и затем скатываются вниз, образуя гранулы-окатыши. Конечная крупность гранул – 10–16 мм.

По форме днища тарельчатые грануляторы делятся на плоские, конические, сферические, эллиптические. Применение неплоских днищ позволяет избежать мертвого пространства в месте стыка с бортом и увеличить путь окатывания, т. е. производительность аппарата. Максимальная эффективность работы тарельчатого гранулятора достигается при определенной высоте слоя, поэтому, оставляя этот показатель неизменным, стремятся увеличить площадь окатывания.

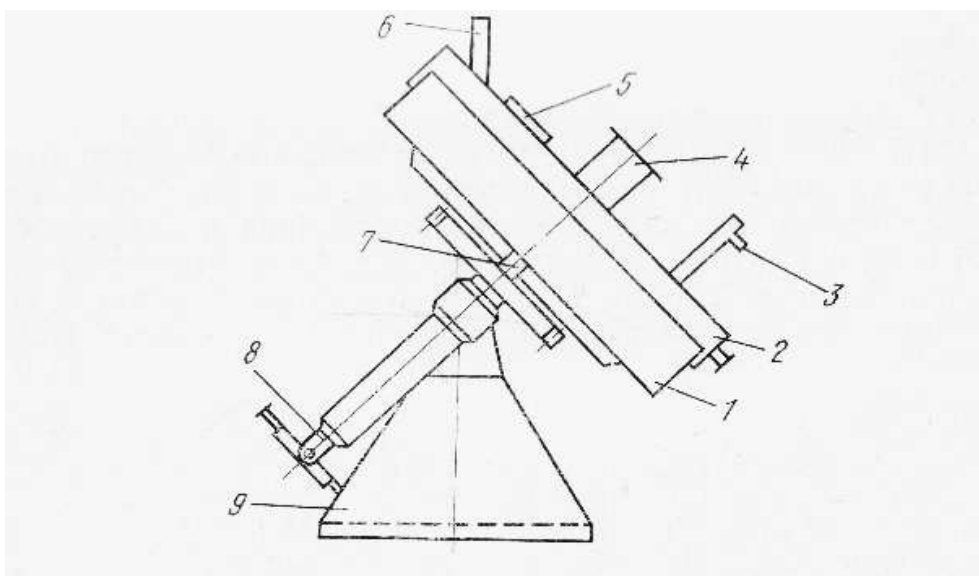


Рис. 13. Тарельчатый гранулятор:

- 1 – вращающаяся тарелка; 2 – герметизирующий кожух;
 3 – форсунка для подачи связующего; 4 – патрубок
 для отсоса паров; 5 – смотровое окно; 6 – патрубок
 для подачи угольной мелочи; 7 – вал;
 8 – механизм для изменения*

Связующее подается в центральную часть тарелки. Место ввода сухих и жидких компонентов определяется требованиями к гранулометрическому составу продукта. Для получения крупных комков орошение ведут в верхней части поднимающегося слоя, а материал для гранулирования загружают в нижнюю часть тарелки. Для получения более мелких гранул поднимают место ввода угольной мелочи и опускают место ввода жидкости, причем поток жидкости делят на две части. Большую часть дают в слой для образования зародышей, а меньшую на участок пересыпания крупных комков, способствуя накатке гранул.

Тарельчатые грануляторы уступают барабанным в производительности, однако обладают многочисленными преимуществами, позволяющими им во многих случаях заменить барабаны. Тарельчатые грануляторы позволяют получить монодисперсный гранулят; относительно легко регулировать ход процесса гранулирования изменением числа оборотов тарели и угла наклона ее оси. Кроме того, тарельчатые грануляторы более экономичны, компактны и требуют меньших капитальных вложений.

К преимуществам гранулирования на тарелях относятся также возможность быстрого определения в лабораторных условиях спо-

способности материалов к гранулированию, широкий диапазон свойств исходных продуктов, возможность проведения процесса по сухой и мокрой схемам. Но они имеют узкие пределы рабочих режимов вследствие высокой чувствительности аппарата к содержанию жидкости (связующего) в материале.

В настоящее время появляется много работ по поиску новых и более дешевых связующих, например, в сведениях, представленных автором [34], показана возможность гранулирования мелких классов каменных и бурых углей с применением в качестве связующего лигносульфонатов (отходов целлюлозобумажной промышленности). Технологическая схема предусматривает подсушку мелкого угля до воздушно-сухого состояния, гранулирования подсушенного угля с водным раствором сульфитно-дрожжевой барды. Схемой предусматривается покрытие гранул водомазутной эмульсией для предотвращения их самовозгорания, что повышает стоимость готовых гранул.

Метод гранулирования обеспечивает простое управление процессом и получение сферических монодисперсных гранул требуемого размера и равномерной структуры, при сжигании достигается значительное повышение КПД топливоиспользующих агрегатов по сравнению с рядовым углем. Основным агрегатом при окусковании мелких классов угля является гранулятор, производство и эксплуатация которого освоены промышленностью. Но из-за ряда недостатков гранулированного топлива, а именно низкой прочности и водоустойчивости, высокого расхода связующих, как правило нефтепродуктов (200 кг/т), способ сегодня не находит широкого распространения.

4.4. Пелетирование

Одним из разновидностей процесса получения окускованного топлива является прессовое гранулирование или пелетирование. Процесс образования пелет происходит в экструдере и схематично представлен на рис. 14.

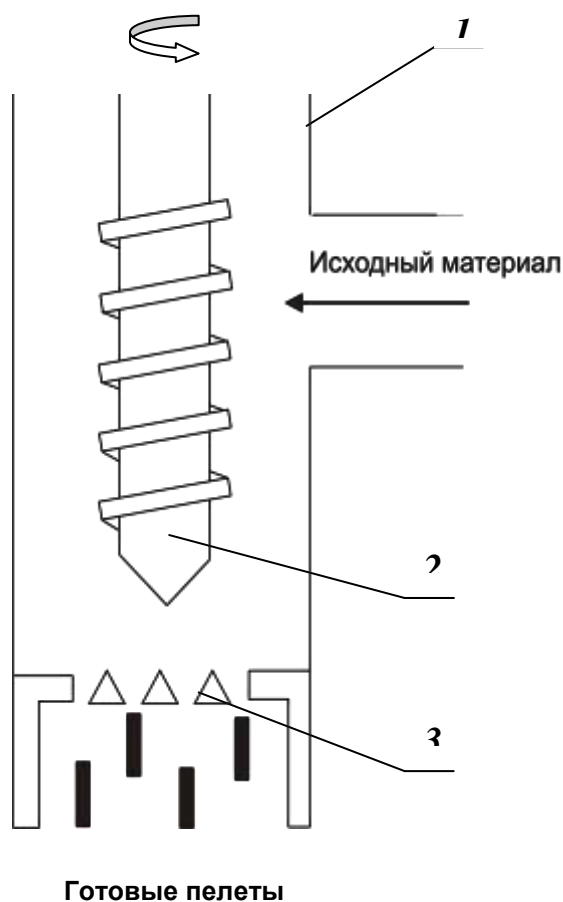


Рис. 14. Пелетирование в экструдере:

1 – корпус экструдера; 2 – вращающийся шнек; 3 – решетка

Материал загружается внутрь аппарата и при помощи шнека направляется на решетку, установленную внутри экструдера и продавливается сквозь отверстия решетки, формируясь в пеллеты.

Британская угольная компания «British Coal» провела широкомасштабные исследования процесс пелетирования мелкодисперсных частиц каменного угля. Испытания проводились в Шотландии [34], где использовали экструдер для пелетирования угольных шламов влажностью 22–24 %. В качестве связующего использовались цемент, крахмал бентонит, поливинилацетат и др.

Для эффективного распределения связующего в смеси угля применялся винтовой питатель. Образующиеся пеллеты имели диаметр 22 мм. Исследования показали, что:

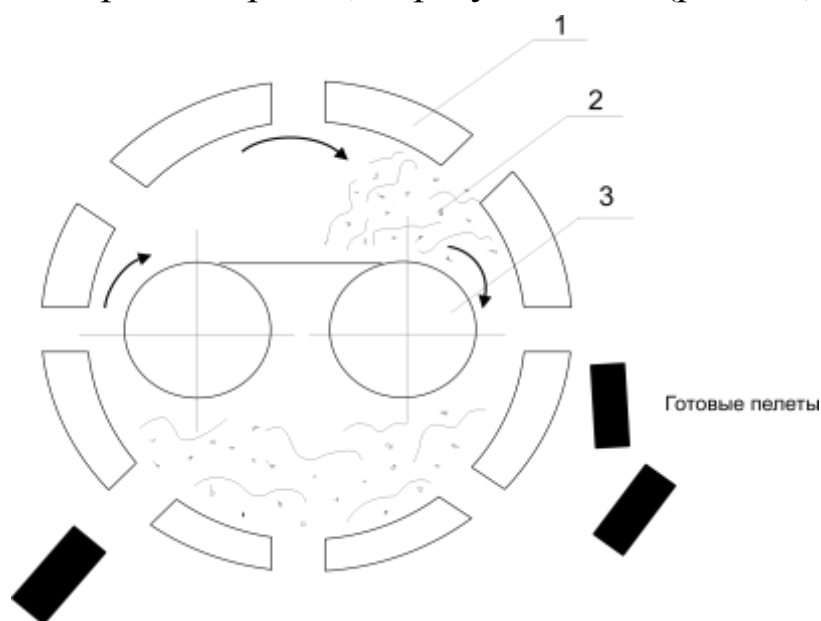
- процесс получения пеллет этим способом требовал большого расхода электроэнергии;

– с увеличением размера частиц исходного материала (более 2 мм) пелеты разрушались;

– применение цемента в качестве связующего увеличивало зольность готового продукта;

– крахмал в качестве связующего, будучи органическим веществом, разлагался микроорганизмами и был водонестойким, что в конечном итоге снижало качество пелет.

Существуют и другие аппараты прессового гранулирования – полые перфорированные барабаны. Внутри такого барабана вращаются в одну сторону два валка, продавливающие смесь материала со связующим через отверстия, образуя пелеты (рис. 15).



*Рис. 15. Получение пелет в перфорированном барабане:
1 – перфорированный барабан; 2 – смесь материала со связующим; 3 – обжимные валки.*

Пелетирование каменноугольной мелочи имеет ряд преимуществ:

- отсутствие термообработки;
- применение в качестве связующего нетоксичных и неканцерогенных материалов;
- возможность окускования каменноугольной мелочи значительной влажности.

Перспективность этого метода очевидна при переработке наружных отстойников шахт и углеобогатительных фабрик.

Вопросы для самопроверки

- 1. Как называется продукт, получаемый в результате прессования угольной шихты на валковых прессах?*
- 2. Как называется продукт, получаемый в результате прессового гранулирования влажных угольных шламов?*
- 3. Как называется продукт, получаемый в результате окатывания угольной мелочи?*
- 4. Перечислите основное оборудование для получения окускованного топлива.*
- 5. Какова роль связующего при получении угольных брикетов?*

5. УТИЛИЗАЦИЯ ОТХОДОВ УГЛЕОБОГАЩЕНИЯ

5.1. Состав и свойства отходов углеобогащения

При добыче и обогащении угля образуются отходы, которые можно рассматривать как крупные ресурсы уже добытого из недр сырья, большая часть которых в настоящее время направляется в отвалы. Последние занимают значительные площади земельных угодий и существенно ухудшают состояние окружающей среды.

В угледобывающих странах выход твердых отходов при открытой добыче составляет 3–5 т на 1 т добываемого угля. При обогащении углей выход хвостов составляет 0,15–0,35 т/т угля [37]. Кроме твердых, выбрасывается огромное количество жидких и газообразных отходов. Детальная классификация отходов приведена в работах [38, 39].

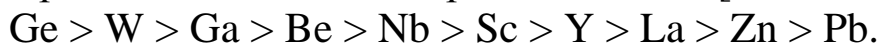
Твердые отходы состоят из минерального и органического вещества. В органической части количественно преобладает углерод. В отходах углеобогащения, например, содержится от 2,9 до 28,8 % углерода, причем такой разброс показателей объясняется различным химическим составом породы и технологической эффективностью процессов, осуществляемых на обогатительных фабриках. В неорганической части твердых топлив преобладают глинистый сланец ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), песчанистый сланец (SiO_2), пирит (FeS_2), сульфаты (CaSO_4), карбонаты (MgCO_3 , FeCO_3). Кроме того, важное значение имеет содержание в минеральной и органической частях угля микрокомпонентов: цветных и благородных металлов, редких, редкоземельных, радиоактивных, легирующих (свинец, цинк, олово, ртуть, медь, серебро, золото, германий, галлий, бериллий, рений, уран, иттрий, скандий, лантан, бор, титан, ванадий, ниобий, молибден, вольфрам, кобальт, никель, хром, марганец и пр.). По разным источникам в углях обнаружено 84 элемента, относящихся к разным группам периодической системы элементов Д. И. Менделеева. Содержание их (даже в расчете на золу), как правило, меньше 0,1 % [5, 12, 40]. Для микроэлементов характерно крайне неравномерное распределение не только в углях различных месторождений, их содержание может существенно различаться в отдельных пластах даже одного и того же месторождения или в пределах того же самого пласта. Некоторые микрокомпоненты (микроэлементы) накаплива-

ются в отвалах добывающих и перерабатывающих уголь предприятий. Поэтому рациональное использование отходов может решить как важную экономическую задачу, так и внести значительный вклад в дело охраны окружающей среды.

5.2. Извлечение германия

Как указывалось выше, в углях содержатся небольшие количества редких, рассеянных, радиоактивных элементов и цветных металлов. Даже при относительно низком содержании микрокомпонентов в результате громадного объема добычи углей из недр извлекаются и поступают на переработку в десятки, а иногда и в сотни раз больше этих элементов, чем в разрабатываемом традиционном минеральном сырье. Так, например, количество мышьяка и германия, содержащихся в энергетических углях, ежегодно сжигаемых в топочных устройствах, более чем в 20 раз превышает мировое потребление этих элементов в промышленности [39].

Изучение распределения микрокомпонентов в угольном веществе позволило выявить так называемый ряд уменьшающегося сродства к органической части твердого топлива [38]:



Соединения ниобия (Nb) и всех остальных стоящих после него элементов в основном сосредоточены в минеральной части твердого топлива, т. е. в микрокомпонентах минеральной части. Поэтому при обогащении угля германий, вольфрам, например, переходят в основном в низкозольный концентрат, а свинец и цинк – в отходы.

Перечисленные выше микрокомпоненты (исключая германий) в промышленных условиях пока не извлекаются. Извлечение некоторых может быть целесообразно только при решении комплексной переработки сырья. Исследованиями установлено [37], что в отдельных случаях целесообразно предварительно выделять и утилизировать некоторые микрокомпоненты, а затем использовать уголь. Наиболее характерен в этом отношении германий.

Германий – один из важнейших материалов, обеспечивающих развитие современной техники полупроводниковых приборов.

Первоначально германий, являющийся рассеянным элементом, получали в основном из отходов других производств (например, из побочных продуктов при выплавке цинка) и собственно рудных

(очень редких и маломощных) месторождений минералов, содержащих этот элемент. В связи с бурным развитием полупроводниковой техники спрос на германий резко увеличился, и начались интенсивные поиски источников его получения. Оказалось, что главным сырьевым источником германия могут быть ископаемые угли и углистые породы.

Установлено, что германий сосредоточен главным образом в органической массе твердого топлива, из которой он может быть выделен во фракции плотностью меньше 1400 кг/м^3 . Наименьшим содержанием германия характеризуются антрациты, а повышенным – малометаморфизованные угли. Найдены также лигниты и углистые породы со сравнительно высоким содержанием германия. Изучение вещественного состава соединений германия показало, что в твердом топливе и сопутствующих ему углистых породах основное количество германия входит в состав органического вещества, образуя соединения внутрикомплексного типа или германийорганические, т. е. соединения хотя бы с одной связью Ge–C. При этом германий не образует индивидуальных соединений, он «присоединен» к угольной макромолекуле этими связями. В бурых углях преобладают внутрикомплексные, а в каменных – германийорганические соединения. Только в некоторых углях и главным образом в углистых породах обнаружены соединения типа твердых растворов двуокиси германия в двуокиси кадмия – силикогерманаты [38].

На примере германия, извлекаемого для промышленного использования, как в методическом, так и в прикладном отношении могут быть успешно решены задачи исследования и использования других ценных неорганических компонентов топлива.

5.3. Получение глинозема

Для производства глинозема применяют боксит, нефелины и в относительно небольшом количестве алуниты [38].

Переработка небокситового сырья на глинозем, несмотря на пониженное содержание в нем окиси алюминия, по сравнению с содержанием его в промышленных сортах бокситов, может оказаться высокорентабельной, если переработку вести комплексным методом с использованием не только окиси алюминия, но и других цен-

ных составных частей исходного материала. По содержанию окиси алюминия минеральная часть углей и сопутствующие углям породы определенных месторождений превосходят многие другие виды высококремнеземного алюминийсодержащего сырья, что подтверждается многочисленными научными исследованиями. Например, выявлены закономерности распределения окиси алюминия в бурых углях Подмосковного бассейна [38]. Установлено, что с уменьшением зольности углей или выделенных из них фракций по плотности увеличивается соотношение между Al_2O_3 и SiO_2 в золе, а также содержание окиси кальция. Зола подмосковных углей, характеризующаясь повышенным содержанием окиси алюминия, может быть перспективным сырьем для алюминиевой промышленности.

Для решения проблемы расширения сырьевой базы производства глинозема на основе минеральной части ископаемых углей Институт горючих ископаемых разработал процессы, позволяющие получать глинозем из минеральной части углей либо без существенного изменения промышленной технологии, либо по принципиально новым технологическим схемам.

Для минеральной части углей ряда бассейнов и месторождений установлено, что содержание окиси алюминия возрастает с увеличением зольности горной массы. Поэтому для производства глинозема целесообразно применять отходы обогащения или добычи углей. Разработана технология производства глинозема из экибастузского сырья по двум направлениям: использование минеральной части углей как добавки к бокситу и в качестве самостоятельного сырья. Органическая масса отходов обогащения может быть использована как топливная составляющая в процессе спекания при получении глинозема. Возможность производства глинозема из минеральной части ископаемых углей не ограничивается пределами Экибастузского месторождения. В данном направлении перспективно также применение углей Минусинского и Канско-Ачинского месторождений [38].

За рубежом также уделяют внимание процессам получения глинозема из высококремнистого сырья [38]. Так, значительный интерес проявляют в США к вопросам, связанным с возможностью получения глинозема из глин и золы углей, так как алюминиевая промышленность этой страны базируется только на импортных бокситах.

5.4. Применение отходов в строительстве и производстве строительных материалов

В нашей стране исследовательские и проектные работы, направленные на использование отходов угольной промышленности для производства строительных материалов и изделий, развернулись после 1945 г. В одном из угольных бассейнов страны были построены 60 км автодорог с подстилающим слоем из горелой породы. Этот материал применяли также при строительстве различных объектов. Впоследствии строители часто наблюдали дефекты в зданиях и сооружениях, построенных из изделий на базе горелых пород [39, 40]. Недостаточное качество строительных изделий из горелой породы можно объяснить тем, что она представляет собой смесь в разной степени обожженных и необожженных кусков породы разной прочности и стойкости.

Отходы добычи и обогащения углей, складированные в отвалы, и частично применяют для строительства дорог. Еще в 1970–1980 гг. производственными объединениями различных угольных бассейнов было построено свыше 1 тыс. км дорог местного значения с использованием около 3,5 млн т отходов добычи и обогащения углей в подстилающем слое нижних слоев оснований и земляном полотне [5].

Анализ научно-исследовательских работ и опыт эксплуатации предприятий показал, что разработка отвала требует специального оборудования и обходится весьма дорого. Поэтому целесообразнее использовать породу текущего выхода и предотвращать отсыпку нового отвала, чем вкладывать средства в разработку старого.

Применение отходов угольной промышленности при строительстве автомобильных дорог и сооружений дамб, насыпей и других инженерных объектов – один из наиболее перспективных и экономичных способов использования этого вида вторичного минерального сырья (техногенных месторождений).

Шахтная порода и отходы углеобогащения в свежем виде изучались как сырье для производства кирпича [5, 40]; проверена возможность изготовления кирпича в 1952 г. из отходов шахт «Южная», «Байдаевская № 1-2», «Зыряновская». Впоследствии были разработаны технологии производства кирпича с использованием отходов гравитационного обогащения углей.

Примером комплексного и рационального подхода к применению отходов углеобогащения является предприятие ЦОФ «Абашевская» в Кузбассе по производству кирпича только из отходов обогащения [5, 39]. На этом предприятии кирпич производится методом полусухого прессования. Основные технологические операции производства кирпича включают дробление кусков отходов обогащения размером более 13 мм в щековой дробилке до 6 мм, затем – в молотковой дробилке до крупности 0,5 мм с одновременной сушкой порошка, смешивание продукта в стержневом смесителе, прессование сырца под давлением 40–60 МПа и термическую обработку в комбинированной туннельной печи, где одновременно осуществляются сушка и обжиг изделий.

Некоторые отходы обогащения, например отходы флотации, характеризуются повышенной влажностью и довольно высокой дисперсностью, что затрудняет и повышает стоимость их захоронения. Целесообразно применение отходов флотации в качестве глиноземной добавки в сырьевую смесь для производства цемента.

В этом случае в процессе обжига утилизируются одновременно минеральная и топливная составляющие.

Разработана технология изготовления керамических изделий с пористой структурой из отходов флотации. Особенности этой технологии являются: использование отходов флотации после их обезвоживания в фильтр-прессовых отделениях; упрощенная схема приготовления формовочной массы, содержащей до 30 % активизирующей добавки – измельченного шамота; применение форсированных режимов сушки оформованного сырца и обжиг по специальному режиму [39].

Использование легких заполнителей (аглопоритов) – одно из наиболее прогрессивных направлений в современной зарубежной и отечественной строительной технике. Особое значение приобретает снижение массы конструкций и зданий вследствие применения легких бетонов, содержащих аглопорит. Наличие пористых заполнителей в бетоне даст возможность снизить массу зданий на 30–40 %, уменьшить транспортные расходы примерно на 30 % и стоимость строительства на 6–10 % [39]. Прочность, кажущаяся плотность, теплопроводность и другие технические показатели легких бетонов поддаются регулированию. Легкие бетоны пригодны для приготовления различных строительных конструкций.

Применение конструкций из легкого бетона позволяет не только значительно снизить их массу, но и улучшить теплотехнические и акустические показатели зданий, успешно решить проблему объемного и многоэтажного строительства в сейсмических районах страны. Потребность в исходном материале для производства пористых заполнителей полностью может быть обеспечена применением отходов угледобычи и углеобогащения, а использование угля, содержащегося в отходах, значительно сокращает расход технологического топлива при производстве аглопорита.

Аглопорит – легкий пористый материал – получают при контактном спекании на решетках агломерационных машин различного глинистого сырья, отходов от добычи, обогащения и сжигания углей. При этом под действием раскаленных газов в шихте происходят испарение влаги, подогрев и горение топлива, спекание и вспучивание. В зависимости от метода подготовки шихты и условий ее термической обработки конечным продуктом могут быть пористые глыбы, подвергаемые дроблению на куски определенного размера (аглопоритовый щебень и песок), либо отдельные, не спекшиеся между собой округлые гранулы (аглопоритовый щебень).

Процесс производства аглопорита сравнительно несложен и осуществляется на оборудовании, выпускаемом отечественной промышленностью.

Использование отходов углеобогащения при строительстве плотин, ограждающих дамб шламонакопителей, отстойников, прудов – охладителей и других гидротехнических сооружений – в настоящее время перспективное направление. Отечественный и зарубежный опыт возведения и эксплуатации плотин и дамб из отходов углеобогащения показывает, что в гидротехническом строительстве эффективно могут быть использованы практически все разновидности твердых углеотходов. Практика применения отходов при сооружении гидротехнических объектов позволяет достичь значительного снижения сметной стоимости их строительства [39].

5.5. Получение абразивных материалов

Изучение химических превращений компонентов минеральной части подмосковных и экибастузских углей при взаимодействии их с углеродом при высоких температурах позволило установить, что в

этих условиях происходит раздельное восстановление двуокиси кремния (с образованием карбида кремния) и окиси алюминия. Это направление особенно перспективно в связи с тем, что отходы обогащения углей содержат равномерно распределенную органическую массу, являющуюся источником углерода для восстановления подлежащих переработке минеральных компонентов. Для получения материалов на основе карбида кремния следует использовать отходы углеобогащения с возможно большим содержанием двуокиси кремния. В результате взаимодействия минеральных примесей с углеродом при температурах до 2350 °С происходит разделение образовавшегося карбида кремния и окиси алюминия. При этом получается абразивный материал с общим выходом 96–98 % от расчетного, содержащий до 95 % карбида кремния [38].

Вопросы для самопроверки

- 1. Какой вещественный состав твердых отходов углеобогащения?*
- 2. Как используются отходы углеобогащения?*
- 3. Какое сырье является основным для производства аглопорита?*
- 4. Отходы, какого метода обогащения применяют для производства кирпича?*
- 5. Какие микроэлементы можно извлечь из отходов углеобогащения?*

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Учебное пособие «Направление комплексного использования минерального сырья» поможет студентам:

– узнать физические и химические свойства полезных ископаемых, их структурно-механические особенности, а также основные направления комплексного использования переработки угля и отходов его обогащения в товарные продукты;

– научиться использовать стандарты и другие нормативные документы при оценке, контроле качества и сертификации продукции; анализировать устойчивость технологического процесса и качество выпускаемой продукции;

– овладеть способностью анализировать горно-геологическую информацию о свойствах и характеристиках минерального сырья и вмещающих пород и методами рационального и комплексного минеральных ресурсов;

– овладеть методами и методиками физико-химического исследования;

– овладеть методами работы с основными методами и приборами научных исследований в области обогащения.

Технологические подразделения						Генетические параметры			
марка		группа		подгруппа		класс	категория	тип	подтип
наименование	обозначение	наименование	обозначение	наименование	обозначение				
Бурый	Б	Первый бурый	1Б	–	–	02, 03	Все категории	50 и выше	05, 10, 15, 20
		Второй бурый	2Б	Второй бурый витринитовый	2БВ	02, 03, 04	0, 1, 2, 3	30, 40	05, 10, 15, 20
				Второй бурый фюзинитовый	2БФ	02, 03, 04	4 и выше	30, 40	05, 10, 15
		Третий бурый	3Б	Третий бурый витринитовый	3БВ	03, 04, 05	0, 1, 2, 3	10, 20	05, 10, 15, 20
				Третий бурый фюзинитовый	3БФ	04, 05	4 и выше	10, 20	05, 10
Длиннопламенный	Д	–	–	Длиннопламенный витринитовый	ДВ	04 05 06 07	0, 1, 2, 3	40 и выше 36 и выше 34 и выше 30 и выше	00, 01
				Длиннопламенный фюзинитовый	ДФ	05 06 07	4 и выше	30 и выше 28 и выше 30 и выше	00, 01
Длиннопламенный газовый	ДГ	–	–	Длиннопламенный газовый витринитовый	ДГВ	05, 06, 07	0, 1, 2, 3	32 и выше	06, 07, 08, 09
				Длиннопламенный газовый фюзинитовый	ДГФ	05, 06, 07	4 и выше	30 и выше	06, 07, 08, 09

Технологические подразделения						Генетические параметры			
марка		группа		подгруппа		класс	категория	тип	подтип
наименование	обозначение	наименование	обозначение	наименование	обозначение				
Газовый	Г	Первый газовый	1Г	Первый газовый витринитовый	1ГВ	05, 06, 07, 08	0, 1, 2, 3	38 и выше	10, 11, 12
						08, 09		30 и выше	06, 07, 08, 09
				Первый газовый фюзинитовый	1ГФ	05	4 и выше	30 и выше	10, 11, 12
						06, 07, 08, 09		38 и выше	06, 07, 08, 09
		Второй газовый	2Г	–	–	06, 07	Все категории	38 и выше	13, 14, 15, 16
Газовый жирный отощенный	ГЖО	Первый газовый жирный отощенный	1ГЖО	Первый газовый жирный отощенный витринитовый	1ГЖОВ	06, 07	0, 1, 2, 3	30, 32, 34, 36	10, 11, 12, 13, 14, 15, 16
								Первый газовый жирный отощенный фюзинитовый	1ГЖОФ
				Второй газовый жирный отощенный витринитовый	2ГЖОВ	08, 09	0, 1, 2, 3		
						Второй газовый жирный отощенный фюзинитовый		2ГЖОФ	08
				08, 09	36 и выше				

Технологические подразделения						Генетические параметры			
марка		группа		подгруппа		класс	категория	тип	подтип
наименование	обозначение	наименование	обозначение	наименование	обозначение				
Газовый жирный	ГЖ	Первый газовый жирный	1ГЖ	–	–	05, 06, 07	Все категории	30 и выше	17 и выше
		Второй газовый жирный	2ГЖ	–	–	08, 09	Все категории	36 и выше	17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25
Жирный	Ж	Первый жирный	1Ж	–	–	08	Все категории	28, 30, 32, 34	14, 15, 16, 17
						09, 10, 11		30, 32, 34	
		Второй жирный	2Ж	–	–	08, 09	Все категории	36 и выше	26 и выше
						10, 11		30, 32, 34	18 и выше
30 и выше	18 и выше								
Коксовый жирный	КЖ	–	–	–	–	09, 10, 11, 12	Все категории	24, 26, 28	18 и выше
Коксовый	К	Первый коксовый	1К	Первый коксовый витринитовый	1КВ	10, 11, 12	0, 1, 2, 3	24, 26, 28	13, 14, 15, 16, 17
								24 и ниже	13 и выше
		Первый коксовый фюзинитовый	1КФ	10, 11, 12	4 и выше	24, 26, 28	13, 14, 15, 16, 17		
						24 и ниже	13 и выше		
Второй коксовый витринитовый	2КВ	13, 14, 15, 16	0, 1, 2, 3	28 и ниже	13 и выше				

Технологические подразделения						Генетические параметры			
марка		группа		подгруппа		класс	категория	тип	подтип
наименование	обозначение	наименование	обозначение	наименование	обозначение				
Коксовый отощенный	КО	Первый коксовый отощенный	1КО	Первый коксовый отощенный витринитовый	1КОВ	08, 09, 10, 11	0, 1, 2, 3	22, 24, 26, 28	10, 11, 12
				Первый коксовый отощенный фюзинитовый	1КОФ	08, 09, 10, 11	4 и выше	22, 24, 26, 28 20 и выше	10, 11, 12
		Второй коксовый отощенный	2КО	Второй коксовый отощенный витринитовый	2КОВ	11	0, 1, 2, 3	16, 18, 20 28 и ниже 22, 24, 26	10, 11, 12
						12			
						13			
				Второй коксовый отощенный фюзинитовый	2КОФ	11	4 и выше	16, 18 28 и ниже 22, 24, 26	10, 11, 12
12									
13									
Коксовый слабоспекающийся низкометаморфизованный	КСН	–	–	Коксовый слабоспекающийся низкометаморфизованный витринитовый	КСНВ	08, 09, 10	0, 1, 2, 3	28 и выше	06, 07, 08, 09
				Коксовый слабоспекающийся низкометаморфизованный фюзинитовый	КСНФ	08, 09, 10	4 и выше	28 и выше	06, 07, 08, 09

Технологические подразделения						Генетические параметры				
марка		группа		подгруппа		класс	категория	тип	подтип	
наименование	обозначение	наименование	обозначение	наименование	обозначение					
Коксовый слабоспекающийся	КС	Первый коксовый слабоспекающийся	1КС	Первый коксовый слабоспекающийся витринитовый	1КСВ	11, 12, 13	0, 1, 2, 3	28 и ниже	06, 07, 08, 09	
				Первый коксовый слабоспекающийся фюзинитовый	1КСФ		4 и выше			
		Второй коксовый слабоспекающийся	2КС	Второй коксовый слабоспекающийся витринитовый	2КСВ	14	14, 15, 16	0, 1, 2, 3	24 и выше	06, 07, 08, 09
						15, 16				06, 07, 08
		Второй коксовый слабоспекающийся	2КС	Второй коксовый слабоспекающийся фюзинитовый	2КСФ	14, 15, 16	14, 15, 16	4 и выше	24 и ниже	06, 07, 08, 09
Отощенный спекающийся	ОС	Первый отощенный спекающийся	1ОС	Первый отощенный спекающийся витринитовый	1ОСВ	13, 14,	0, 1, 2, 3	20 и ниже	10, 11, 12	
						15, 16,			09, 10, 11, 12	
						17			10, 11, 12	
		Первый отощенный спекающийся	1ОС	Первый отощенный спекающийся фюзинитовый	1ОСФ	13, 14, 15, 16, 17	13, 14, 15, 16, 17	4 и выше	20 и ниже	10, 11, 12
Второй отощенный спекающийся	2ОС	Второй отощенный спекающийся витринитовый	2ОСВ	17 и выше	17 и выше	0, 1, 2, 3	20 и ниже	06, 07, 08, 09		
								Второй отощенный спекающийся фюзинитовый	2ОСФ	17 и выше

Технологические подразделения						Генетические параметры					
марка		группа		подгруппа		класс	категория	тип	подтип		
наименование	обозначение	наименование	обозначение	наименование	обозначение						
Тощий спекающийся	ТС	–	–	Тощий спекающийся витринитовый	ТСВ	14, 15, 16, 17, 18, 19	0, 1, 2, 3	20 и ниже	01		
				Тощий спекающийся фюзинитовый	ТСФ	14, 15, 16, 17, 18, 19	4 и выше	16, 18 16 и ниже	01		
Слабоспекающийся	СС	Первый слабоспекающийся	1СС	–	–	07	Все категории	20, 22, 24, 26, 28	00, 01		
						08, 09		34 и выше			
		Второй слабоспекающийся	2СС	–	–	–	–	08, 09, 10, 11, 12, 13	Все категории	26, 28, 30, 32	00, 01
								Третий слабоспекающийся	3СС	–	–
		10, 11, 12, 13	16, 18, 20, 22, 24								
								14	Все категории	16, 18, 20	00
						15, 16, 17	18, 20				
Тощий	Т	Первый тощий	1Т	Первый тощий витринитовый	1ТВ	15, 16, 17, 18, 19, 20	0, 1, 2, 3	12, 14, 16	00		
						Первый тощий фюзинитовый		1ТФ		13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20	4 и выше
		Второй тощий	2Т	Второй тощий витринитовый	2ТВ	15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25	0, 1, 2, 3	08, 10	00		

Технологические подразделения						Генетические параметры			
марка		группа		подгруппа		класс	категория	тип	подтип
наименование	обозначение	наименование	обозначение	наименование	обозначение				
Тощий	Т	Второй тощий	2Т	Второй тощий фюзинитовый	2ТФ	15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25	4 и выше	08, 10	00
Антрацит	А	Первый антрацит	1А	Первый антрацит витринитовый	1АВ	22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30,	0, 1, 2, 3	20	60 и ниже
				Первый антрацит фюзинитовый	1АФ	31, 32, 34, 35	4 и выше	10 и выше	60 и ниже
		Второй антрацит	2А	Второй антрацит витринитовый	2АВ	36, 37, 38, 39, 40, 41,	0, 1, 2, 3	10 и выше	40 и выше
				Второй антрацит фюзинитовый	2АФ	42, 43, 44	4 и выше	10 и выше	40 и выше
		Третий антрацит	3А	Третий антрацит витринитовый	3АВ	45 и выше	0, 1, 2, 3	15 и ниже	50 и выше
				Третий антрацит фюзинитовый	3АФ	45 и выше	4 и выше	15 и ниже	50 и выше

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Химия и переработка угля / В. Г. Линович, Г. А. Калабин, И. В. Калечиц и др. – М.: Химия, 1988. – 336 с.
2. ГОСТ 9414-93. Уголь каменный и антрацит. Методы петрографического анализа. Введ. 01.01.1994. – М.: Изд-во стандартов, 1994. – 4 с.
3. Миронов, К. В. Справочник геолога-угольщика. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1991. – 363 с.
4. Кипнис, Ш. Ш. Технический контроль на углеобогажительных фабриках. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1985. – 244 с.
5. Бедрань, Н. Г. Обогащение углей: учеб. для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1988. – 206 с.
6. ГОСТ 19242-73. Угли бурые, каменные и антрациты. Классификация по размеру кусков. Введ. 01.01.1974. – М.: Изд-во стандартов, 1974. – 2 с.
7. Справочник по обогащению углей / под ред. И. С. Благова, А. М. Коткина и Л. С. Зарубина. – М.: Недра, 1984. – 616 с.
8. ГОСТ 25543-88. Угли бурые, каменные и антрациты. Классификация по генетическим и технологическим параметрам. Введ. 01.01.1990. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 19 с.
9. Международная система кодификации углей среднего и высокого рангов. ESE COAL/115. – Нью-Йорк: Изд-во Организации Объединенных Наций, 1988. – 13 с.
10. ГОСТ 30313-95. Угли каменные и антрациты (Угли среднего и высокого рангов). Кодификация. Введ. 01.01.1997. – Минск: Изд-во стандартов, 1996. – 12 с.
11. Голицин, М. В. Все об угле / А. М. Голицин, М. В. Толщин. – М.: Наука, 1989. – 192 с.
12. Переработка и качество полезных ископаемых / Н. Г. Бедрань, Л. П. Скоробогатова. – Киев; Донецк: Вища шк.; Головное изд-во, 1984. – 189 с.
13. <https://utmagazine.ru/posts/10106-diversifikaciya-produkcii>
14. Водугольное топливо <http://vodougol.ru>
15. Зайденварг, В. Е. Результаты работ по переводу котлов различной мощности на сжигание водугольного топлива /

В. Е. Зайденварг, В. И. Мурко, И. Х. Нехороший // Уголь. – 1997. – № 5.

16. Фальбе, Ю. Химические вещества из угля. – М.: Химия, 1980. – С. 425–426.

17. Технология приготовления водоугольного топлива <http://www.sib-science.info/ru/institutes/pomol-i-kavitatsiya-23122016>

18. Современное топливо для теплоэнергетики <http://bbgl.ru/upload/company>

19. Демидов, Ю. В. Создание высококачественных водоугольных суспензий для использования взамен мазута // Опыт и перспективы наукоемких технологий в угольной промышленности Кузбасса: тр. науч.-практ. конф. – Кемерово: ИУУ СО РАН, 1998. – С. 132–135.

20. Агроскин, А.А. Химия и технология угля. – М.: Недра, 1969. – 240 с.

21. Аронов, С. Г. Химия твердых горючих ископаемых / С. Г. Аронов, Л. Л. Нестеренко. – Харьков: Изд-во Харьков. гос. ун-та, 1960. – 372 с.

22. Справочник по химии и технологии твердых горючих ископаемых / А. Н. Чистяков, Д. А. Розенталь, Н. Д. Русьянова, В. И. Сухоруков и др. – СПб.: Издат. компания «Синтез», 1996. – 363 с.

23. Скафа, П. В. Подземная газификация углей. – М.: Госгортехиздат, 1960. – 321 с.

24. Лазаренко, С. Н. Возможности использования технологии подземной газификации углей в Кузбассе / С. Н. Лазаренко, П. В. Кравцов // Опыт и перспективы наукоемких технологий в угольной промышленности Кузбасса: тр. науч.-практ. конф. – Кемерово: ИУУ СО РАН, 1998. – С. 101–106.

25. Энергетическая компания <http://www.sasol.com/>

26. Комплексная переработка углей и повышение эффективности их использования. Каталог-справочник / сост. Г. С. Головин, А. С. Малолетнев; под общ. ред. В. М. Щадова. – М.: НТК «Трек», 2007. – 292 с.

27. <http://kadastr.org/conf/2012/pub/prirresurs/kopleks-isp-prir-res.htm>

28. Производство активированного угля <http://www.tehnoinfo.ru/pererabotkinefti/19.html>

29. Водоподготовка: справочник / под ред. С. Е. Беликова. – М.: Аква-Терм, 2007. – 240 с.

30. Способ получения безбалластных гуминовых стимуляторов роста растений <http://www.findpatent.ru/patent/211/2115642.htm>

31. Крапчин, И. П. Уголь сегодня, завтра (технология, экология, экономика) / И. П. Крапчин, Ю. С. Кудинов. – М.: Издательский Дом «НОВЫЙ ВЕК», Институт микроэкономики, 2001. – 216 с.

32. Евменова, Г. Л. Диверсификация угольной продукции: учеб. пособие / Г. Л. Евменова, Е. И. Моисеева; Кузбас. гос. техн. ун-т. – Кемерово, 2002. – 106 с.

33. Елишевич А. Т. Брикетирование полезных ископаемых. – М.: Недра, 1989. – 300 с.

34. Евменова, Г. Л. Окускование угольной мелочи [Электронный ресурс]: учеб. пособие по дисциплине факультатива «Брикетирование, гранулирование, пелетирование» для студентов специальности 130405 «Обогащение полезных ископаемых» / Г. Л. Евменова; ФГБОУ ВПО «Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т. Ф. Горбачева», каф. обогащения полез. ископаемых. – Кемерово, 2012. – 55 с.

<http://library.kuzstu.ru/meto.php?n=90746&type=utchposob:common>

35. Классен, П. В. Основы техники гранулирования / П. В. Классен, И. Г. Гришаев. – М.: Химия. – 1982. – 272 с.

36. Вилесов Н. Г. Процессы гранулирования в промышленности / Н. Г. Вилесов, В. Я. Скрипко, В. Л. Ломазов, И. М. Танченко. – Киев: Техніка, 1976. – 192 с.

37. Комплексное использования сырья и отходов / Б. М. Равич, В. П. Окладников, В. П. Лыкач, В. Н. Менковский. – М.: Химия, 1988. – 288 с.

38. Якунин В. П. Использование отходов обогащения углей / В. П. Якунин, А. А. Агроскин. – М.: Недра, 1978. – 167 с.

39. Шпирт М. Я. Безотходная технология. Утилизация отходов добычи и переработки твердых горючих ископаемых / под ред. Б. Н. Ласкорина. – М.: Недра, 1986. – 255 с.

40. Шпирт М. Я. Рациональное использование отходов добычи и обогащения углей / М. Я. Шпирт, В. А. Рубан, Ю. В. Иткин. – М.: Недра, 1990. – 224 с.

Евменова Галина Львовна

**НАПРАВЛЕНИЕ КОМПЛЕКСНОГО
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ**

Учебное пособие

Печатается в авторской редакции

Подписано в печать 10.07.2017. Формат 60×84/16
Бумага офсетная. Гарнитура «Times New Roman». Уч.-изд. л. 7,1
Тираж 70 экз. Заказ.....
КузГТУ, 650000, Кемерово, ул. Весенняя, 28
Издательский центр УИП КузГТУ, 650000, Кемерово, ул. Д. Бедного, 4а