



I ПОЖАРНАЯ И ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

УДК 622.412:622.81

А.М. ТИМОШЕНКО

канд. техн. наук, исполнительный директор
АО «НЦ ВостНИИ», г. Кемерово
e-mail: timoshenko@nc-vostnii.ru



В.В. САТОНИН

зам. заведующего лабораторией
АО «НЦ ВостНИИ», г. Кемерово
e-mail: v.satonin@nc-vostnii.ru



К.А. ТИМОШЕНКО

младший научный сотрудник
АО «НЦ ВостНИИ», г. Кемерово
e-mail: k.timoshenko@nc-vostnii.ru



ЛЕТУЧИЕ ВЕЩЕСТВА В ИСКОПАЕМЫХ УГЛЯХ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ВЫДЕЛЕНИЕ ГАЗА В ШАХТАХ

Рассмотрена зависимость метаморфизма углей от выхода летучих веществ. Рассмотрено влияние выхода летучих веществ на сорбционную способность углей. Установлено, что выход летучих веществ не является надежным показателем степени метаморфизма, особенно для мало- и высокометаморфизованных углей. Использование в нормативных документах показателя «выход летучих веществ» для прогноза газообильности угольных шахт по природной газоносности угольных пластов приводит к получению недостоверных данных о параметрах проветривания горных выработок.

Ключевые слова: УГОЛЬ, ЛЕТУЧИЕ ВЕЩЕСТВА, МЕТАМОРФИЗМ УГЛЯ, МЕТАНОЕМКОСТЬ УГЛЯ, ГАЗОНОСНОСТЬ, ГАЗОВЫДЕЛЕНИЕ

По определению [1, 2] «летучими веществами» являются вещества, выделяющиеся из ископаемых углей при их нагревании, т.е. вещества, составляющие основу ископаемых углей. По данным, представленным в работе [3], «основная масса углей состоит из измененного

растительного материала». Поэтому в составе растений следует искать источники тех составных частей, которые создали все разнообразие ископаемых углей в результате превращений.

Более двух веков назад в промышленности возникла необходимость разделения

(классификации) ископаемых углей по энергетическим и технологическим свойствам с целью их использования в топках паровых турбин или в коксовых и доменных печах. До 1800 г. каменные угли разделялись на блестящий, черный и бурый [4]. При расширении использования угля в промышленных целях потребовалась более детальная классификация топлива, и к 1820 г. было принято разделение углей на тощий, жирный, тяжелый (антрацит), мягкий (жирный), а также битуминозный. Учитывая сложную связь между составом и технологическими свойствами угля, в систему классификации углей необходимо было включить параметры, которые бы давали непосредственные данные о свойствах угля как топлива и исходного материала для производства газа или кокса.

Для технологии сжигания угля важно знать его теплотворную способность, а также свойства угля при нагревании, так как именно ими определяется количество конечных продуктов. Поэтому выход летучих веществ, наряду с характеристикой коксового королька, был с давних пор принят за классификационный параметр [4].

Жемчужников Ю.А. в работе [3] так охарактеризовал способ определения выхода летучих веществ из ископаемых углей: «если уголь нагревать в тигле без доступа воздуха, то его органическая часть начинает разлагаться. При этом часть угля переходит в газообразные вещества, которые и выделяются из тигля наружу вместе с влагой. После прекращения выхода газов другая часть органического вещества угля остается вместе с золой в тигле в виде коксового остатка. По весу коксового остатка, т.е. зольного кокса и влаги, можно судить о количестве выделившихся «летучих веществ». Практически при нагревании без доступа воздуха или сухой перегонки из угля выделяется сначала влага в виде паров и потом только горючие летучие вещества. Под «летучими веществами» подразумевается только эта последняя часть, которая получается вычитанием из полной потери в весе угля его лабораторной влажности».

Соотношение летучих составных частей

угля и нелетучей части, или беззольного кокса, весьма изменчиво и зависит от природы угля и степени его метаморфизма. По мнению Жемчужникова Ю.А., данное соотношение имеет большое классификационное значение.

Быстрый эмпирический метод определения качества ископаемых углей по выходу летучих веществ длительное время используется в промышленности многих угледобывающих стран для установления степени метаморфизма и содержания углерода в каменных углях [4].

Методика выполнения работ по определению выхода летучих веществ из каменных углей в России стандартизирована [5]. Экспериментальными исследованиями [6] установлено, что при нагревании ископаемых углей до температуры $900 \pm 5^\circ\text{C}$ без доступа воздуха (требования Государственного стандарта [5]) процесс разложения угольного вещества происходит в следующей последовательности. При нагревании углей до 100°C начинают выделяться окклюдированные (поглощенные, растворенные) газы и влага внешняя и гигроскопическая. При температуре свыше 100°C одновременно с выделением влаги у молодых углей начинают разлагаться гуминовые кислоты с выделением CO_2 , при температуре 200°C происходит выделение паров дегтя. У углей всех марок при температуре $350\text{--}500^\circ\text{C}$ идет выделение паров первичного дегтя и природных газов (CH_4 , CO_2 , N_2 , H_2S , CO , H_2 , редкие газы – He, Ar, и др.). При нагревании угля до $500\text{--}600^\circ\text{C}$ выделение первичных продуктов заканчивается, а при температуре $700\text{--}800^\circ\text{C}$ идет процесс коксования с выделением в виде паров коксового дегтя и коксового газа. Но выделение летучих веществ при этом не заканчивается, так как при температуре $800\text{--}850^\circ\text{C}$ разлагаются карбонаты с выделением CO_2 [6].

Исследованиями [6] установлено, что «летучими веществами» в ископаемых углях являются не только газы, указанные выше, но и первичный деготь (в бурых углях) и каменноугольная смола (в каменных углях). При коксовании и полуккоксовании ископаемых углей, в процессе термической обработки горючих

сланцев, «летучие вещества» улавливаются и используются как ценное химическое сырье.

В соответствии с многочисленными исследованиями [3, 7–9], содержание «летучих веществ» в каменных углях уменьшается от бурых углей к каменным углям и далее к ан-

трацитам, т.е. зависит от петрографического состава и степени их метаморфизма.

На рисунке 1 приведена динамика изменения содержания летучих веществ в ископаемых углях Кузбасса в зависимости от их марочного состава и степени метаморфизма.

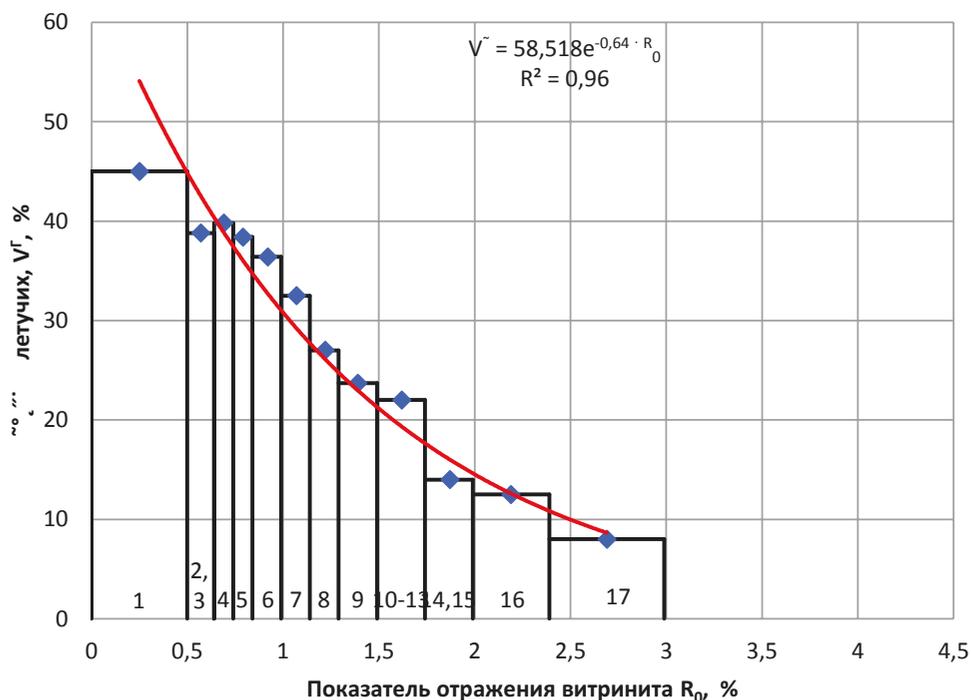


Рисунок 1 – Изменение содержания летучих веществ в ископаемых углях Кузбасса в зависимости от степени метаморфизма (Ro) и марочного состава

Таблица 1 – Расположение углей по маркам и стадиям метаморфизма

№	Стадия метаморфизма	Марка угля	Группа угля
1.	O1, O2, O3	Б	Буроугольная группа
2.	I	Д	
3.	I	Д	Каменноугольная группа
4.	I–II	Г	
5.	II	ГЖО	
6.	II–III	ГЖ	
7.	III	Ж	
8.	III–IV	КЖ	
9.	IV	К	
10.	IV–V	КО	
11.	IV–V	КСН	
12.	IV–V	КС	
13.	IV–V	ОС	
14.	V	ТС	
15.	V	СС	
16.	VI	Т	
17.	VII–VIII, VIII–IX–X	А	Антрацитовая группа

Расположение углей по маркам и стадиям метаморфизма показано по данным таблицы 4.3 [7] (по значениям показателя отражения витринита, R_o , %), а содержание летучих веществ в углях (средние показатели по маркам) принято по данным [10]. В соответствии с данными, приведенными на рисунке 1, видно, что содержание летучих веществ от бурых углей к каменным углям и далее к антрацитам снижается от 45 до 8% в соответствии с зави-

симостью вида:

$$V^r = 2,833R_o^3 - 11,26 R_o^2 - 5,4904 + 47,09. (1)$$

Средние значения содержания летучих веществ в угольных пластах, залегающих в сериях и свитах угленосных районов Кузбасса, приведенные в таблице 2 по данным [10], также уменьшаются с увеличением глубины залегания угольных пластов.

Таблица 2 - Средние значения содержания летучих веществ в угольных пластах, залегающих в сериях и свитах угленосных районов Кузбасса

Серии	Свиты (сверху вниз)	Содержание летучих веществ в угольных пластах по сериям и свитам (средние значения), %					
		Угленосные районы Кузнецкого бассейна					
		Ленинский	Беловский	Байдаевский	Ерунаковский	Осинниковский	Распадское месторождение
Кольчугинская	Грамотейнская	—	—	—	39,0	—	37,6
	Ленинская	40,8	39,5	37,4	37,7	—	35,8
	Ускатская	40,9	40,5	35,6	36,6	29,5	36,3
	Казанково-маркинская	38,4	36,5	—	—	27,7	—
Балахонская		Анжерский	Кемеровский	Прокопьевско-Киселевский	Томь-Усинский	Мрасский	Кондомский
	Кемеровская	—	26,1	23,2	21,7	14,4	10,9
	Ишановская	—	—	20,7	12,9	7,3	11,0
	Промежуточная	—	19,6	16,9	—	—	—
	Алыкаевская	13,7	23,4	12,8	—	—	—

Закономерности уменьшения содержания летучих веществ с увеличением глубины залегания угольных пластов известны уже давно и нашли своё выражение в так называемом «правиле Хильта» [3], установленном на германских угольных бассейнах и опубликованном маркшейдером К. Хильтом в 1873 г.

Сущность «правила Хильта» состоит в том, что в одном и том же угольном бассейне в приблизительно одинаковых условиях тектоники угли от верхних пластов к нижним обедняются «летучими веществами» и обогащаются углеродом, т.е. становятся более угле-

фицированными.

Хильт и его последователи объясняли отмеченную закономерность увеличением с глубиной давления толщи пород, вызывающим метаморфизацию углей. Однако Жемчужников Ю.А. в работе [3] уменьшение содержания летучих веществ с глубиной объясняет только неодинаковостью вещества угля разных пластов.

Повышение содержания углерода в угольных пластах с увеличением глубины их залегания может быть объяснено не только «правилем Хильта», но и «правилом Шермана»

– «содержание воды в лигните в данной буровой скважине уменьшается с увеличением глубины» [4]. В торфе содержится более 90% воды, в буром угле – более 60%. Так как содержание воды увеличивается при наличии кислорода, то по «правилу Шермана» с увеличением глубины содержание кислорода падает, а содержание углерода повышается.

Исследованиями Погребицкого Е.О. в Донецком угольном бассейне, опубликованными в 1933–1938 гг. в журнале «Химия и жизнь», установлены многочисленные отклонения от «правила Хильта», главным образом для пластов относительно сближенных, залегающих в толще общей мощностью до 200 м.

Авторы работы «Геолого-углехимическая карта Донецкого бассейна», опубликованной в 1954 г., отклонения от «правила Хильта» объясняют несовершенством показателя «выход летучих веществ» как мерил степени метаморфизма, поскольку этот параметр зависит не только от метаморфизма, но и от первичных генетических особенностей угля.

Таблица 3 – Перечень марок углей, залегающих в недрах Кузбасса, и среднее содержание летучих веществ в угле каждой из марок

№, п/п	Наименование марки угля	Обозначение марки угля	Содержание летучих веществ (среднее по марке), %
1.	Бурый	Б	45,0
2.	Длиннопламенный	Д	40,1
3.	Длиннопламенный газовый	ДГ	38,8
4.	Газовый	Г	39,8
5.	Газовый жирный отощенный	ГЖО	38,6
6.	Газовый жирный	ГЖ	36,7
7.	Жирный	Ж	32,5
8.	Коксовый жирный	КЖ	27,0
9.	Коксовый	К	23,7
10.	Коксовый отощенный	КО	21,9
11.	Коксовый слабоспекающийся низкометаморфизованный	КСН	22,0
12.	Коксовый спекающийся	КС	16,7
13.	Отощенный спекающийся	ОС	15,9
14.	Тощий спекающийся	ТС	14,4
15.	Слабоспекающийся	СС	14,4
16.	Тощий	Т	12,2
17.	Антрацит	А	8,0

Отсюда, по данным Левенштейна М.Л. [11], очевидны недостатки первичной формулировки «правила Хильта». Более точно следует говорить не об уменьшении «выхода летучих веществ» от верхних пластов к нижним, а об увеличении степени метаморфизма пластов от верхних к нижним.

Выход летучих веществ, как показано в работе [4], с давних пор, значительно раньше опубликования «правила Хильта», стал классификационным параметром для оценки качества ископаемых углей и определения их марок.

По определению [7] «марка углей – это условное обозначение разновидности углей по генетическим признакам и основным энергетическим и технологическим свойствам». Каждая марка угля имеет наименование и обозначение в виде первых букв этого наименования.

В таблице 3 приведен перечень марок углей, залегающих в недрах Кузбасса, и среднее содержание летучих веществ в угле каждой из марок по данным [7, 10].

Из изложенного выше следует, что содержание летучих веществ в углях Кузбасса уменьшается с глубиной залегания угольных пластов. Вследствие такой закономерности выход летучих веществ в научных исследованиях издавна был принят в качестве показателя степени метаморфизма угольных пластов и используется для определения метаноемко-

сти углей в расчетах газообильности горных выработок [12].

Количественная зависимость величины метаноемкости углей различных месторождений от выхода летучих веществ по результатам экспериментальных исследований [13] представлена на рисунке 2.

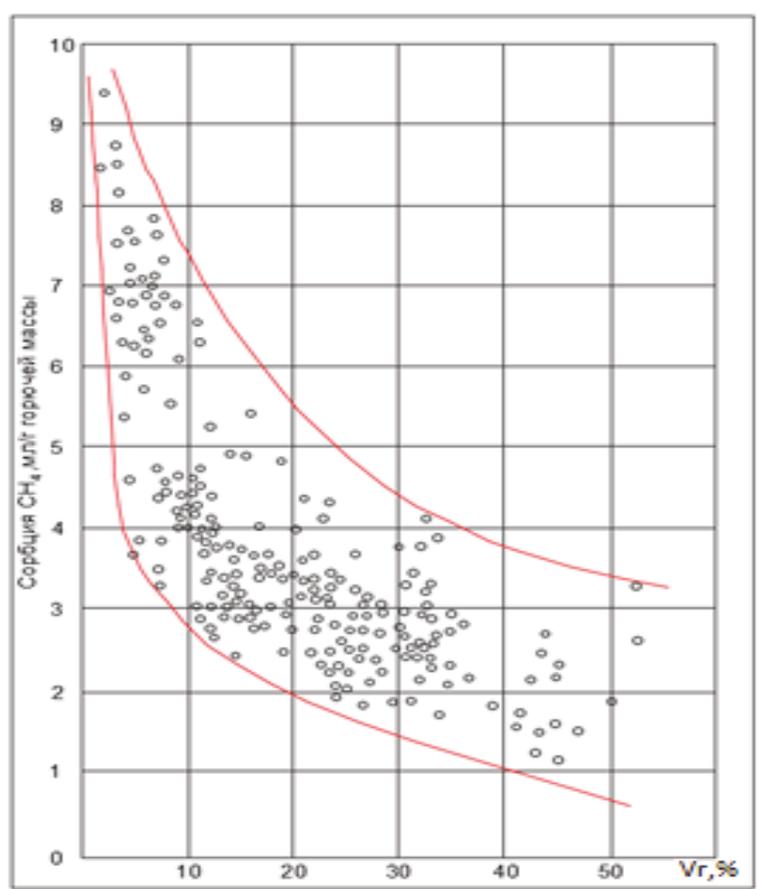


Рисунок 2 – Сорбционная метаноемкость каменных углей различных месторождений СССР

На основании данных, представленных на рисунке 2, можно сделать следующие выводы:

- большое количество экспериментальных точек подчиняется общей закономерности увеличения сорбционной метаноемкости от малометаморфизованных углей к антрацитам;

- имеет место (наблюдается) большой разброс экспериментальных данных, который заставляет предполагать о наличии нескольких (многих) факторов, влияющих на сорбционные свойства углей;

- угли с одинаковым выходом летучих веществ могут значительно отличаться между собой по сорбционной метаноемкости.

Исследованиями [13] установлена закономерность увеличения сорбционной метаноемкости от малометаморфизованных углей к антрацитам, а «выход летучих веществ» показан одним из факторов, влияющих на содержание метана в угольных пластах.

Большой разброс экспериментальных точек, по мнению автора [13], мог быть обусловлен тем, что показатель «выход летучих веществ» плохо характеризует степень метаморфизма углей, так как на выход летучих веществ, кроме метаморфизма, оказывают существенное влияние и другие особенности угля. Особенно малонадежен как показатель степени метаморфизма выход летучих веществ для

мало- и высокометаморфизованных углей. Несмотря на это, в нормативных документах [12] уже многие годы именно «выход летучих веществ» учитывается при прогнозе газообильности угольных шахт как показатель, характеризующий метаморфизм углей.

В монографии [9], одним из авторов которой являлся Эттингер И.Л., также показано, что «выход летучих веществ», хотя и получил широкое распространение, но не является точным показателем степени метаморфизма угля, а в некоторых случаях (окисленные угли) даже не применим.

Разброс экспериментальных точек в указанных исследованиях [9] объясняется еще и тем, что сорбционные свойства углей изменяются в зависимости от природных процессов, происходящих в них в период генезиса. Это создает ту разбросанность в экспериментальных данных, которая вообще характерна при установлении любой закономерности для природных углей.

По данным работы [11] отклонения от «правила Хильта» в условиях Донбаса являются следствием несовершенства показателя «выход летучих веществ» как мерила степени метаморфизма, поскольку этот параметр зависит еще и от первичных генетических особенностей угля.

Авторами проведен анализ результатов специальных исследований ВостНИИ [14, 15] об изменениях метаноемкости углей Кузбасса при различных давлениях, температуре и степени метаморфизма (выходе летучих веществ в углях).

На рисунке 3 показано распределение экспериментальных точек значений метаноемкости при давлении 1 атм и температуре

150С, которые, по заключению авторов [14, 15], должны приниматься в расчетах газообильности угольных шахт [12] как показатели остаточной метаноносности X_{or} , мЗ/т с.б.м.

Известно, что под «остаточной метаноносностью», по определению [1], понимается объем газа, содержащийся в единице массы угля, частично дегазированного в результате ведения горных работ (газоносность в зоне выемки, газоносность отбитого угля).

Из рисунка 3 видно, что большое количество экспериментальных точек подчиняется общей закономерности увеличения метаноемкости от малометаморфизованных углей к антрацитам, что и было установлено исследованиями Эттингера И.Л. [13].

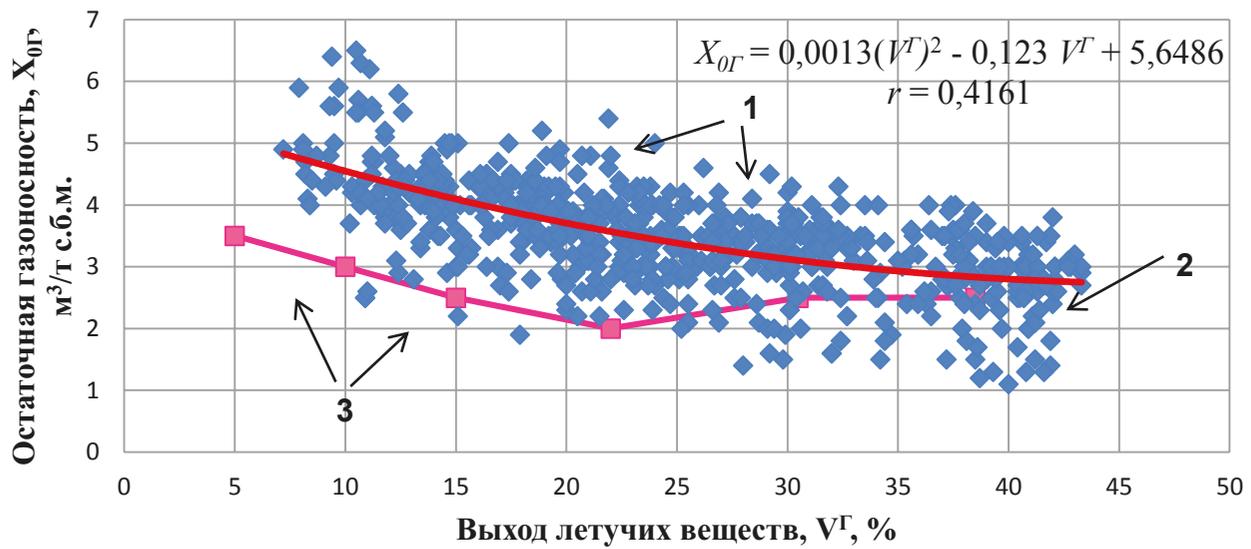
Кривая 2, характеризующая изменение средних значений остаточной метаноносности угольных пластов Кузбасса, определена по правилам математической статистики и аппроксимирована кривой вида:

$$X_{or} = 0,0013(V^{\Gamma^2}) - 0,123V^{\Gamma} + 5,6486. \quad (2)$$

Коэффициент корреляции по данным 749 проб угля составляет $r = 0,4161$, что указывает на отсутствие тесной связи показателей остаточной метаноносности и «выхода летучих веществ» из этих же пластов угля.

Из рисунка 3 видно, что угли с одинаковым выходом летучих веществ значительно (в несколько раз) отличаются между собой по показателям остаточной метаноносности, что и было установлено в работе [13] (см. выше).

Кривая 3 характеризует значения остаточной метаноносности угольных пластов Кузбасса, приведенные в таблице 3.2 [12] для использования в вентиляционных расчетах.



1 – экспериментальные значения метаноемкости (749 проб угля); 2 – средние значения метаноемкости; 3 – значения остаточной газоносности $X_{0г}$, м3/т с.б.м., приведенные в табл. 3.2. [12] для шахт Кузбасса

Рисунок 3 – Зависимость остаточной газоносности от выхода летучих веществ в ископаемых углях Кузбасса

В таблице 3 приведены численные значения остаточной метаносности, определенные по рисунку 3 для сравнительного анализа.

Таблица 3 – Численные значения остаточной метаносности

Интервалы изменения летучих веществ, принятые в [12]	Значения $X_{0г}$, м3/т с.б.м. при выходе летучих веществ, V_r , %						
	2–8	8–12	12–18	18–26	26–35	35–42	42–50
Значения $X_{0г}$							
По данным [12]	3,50	3,00	2,50	2,00	2,50	2,50	—
Средние показатели по данным	4,80	4,60	4,2	3,60	3,20	2,80	—

Анализ таблицы 3 показывает, что значения $X_{0г}$, приведенные в таблице 3.2 [12], значительно меньше определенных в исследованиях [14, 15], что приводит к необоснованному завышению расчетных параметров проветривания горных выработок, увеличению сечения горных выработок и, как следствие, к необоснованным затратам на их проведение.

Однако, несмотря на отмеченные недостатки, показатель «выхода летучих веществ» уже длительное время используется в нормативных документах [12] для выполнения вен-

тиляционных расчетов на действующих шахтах и в проектных организациях.

Многолетний опыт проведения вентиляционных расчетов для различных условий угольных шахт Кузбасса по [12] и изложенный выше обзор научных исследований позволяет нам оценить влияние показателя «выход летучих веществ» на газовыделение в шахтах и правомерность (обоснованность) его использования в вентиляционных расчетах.

По нашему мнению, «летучие вещества» (газы, деготь, смолы), находящиеся в составе

растительной (органической) массы угля, не могут оказывать влияние на газовыделение из угольных пластов в действующих шахтах с температурой атмосферы до 150С (в Кузбассе) вследствие того, что они («летучие вещества») выделяются только при нагревании до 9000С.

Вывод

Работами [13] доказано, что выход летучих веществ является ненадежным показателем степени метаморфизма. Угольные

пласты, имеющие одно и то же содержание летучих веществ, обладают различными сорбционными свойствами.

Вследствие этого содержание летучих веществ в ископаемых углях должно быть исключено из вентиляционных расчетов по [12], а в ближайшее время необходимо провести масштабные исследования с целью изыскания критериев (показателей), достоверно учитывающих закономерности метаморфизма и сорбционных свойств ископаемых углей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горное дело. Терминологический словарь. – М.: «Недра», 1981. – 471 с.
2. Горная энциклопедия. Т.1. Аа-лава. – М.: Геосистема, 1984. – 560 с.
3. Жемчужников Ю.А. Общая геология ископаемых углей. – М.: Углетехиздат, 1948. – 491с.
4. Ван Кревелен, Ж. Шуер. Наука об угле. – М., 1960. – 304 с.
5. ГОСТ 6382–2001. Топливо твердое, минеральное. Методы определения выхода летучих веществ. – Минск: Изд-во стандартов, 2002. – 17 с.
6. Яковлев Д.И. Угলেখимические лаборатории. – М.: Углетехиздат, 1957. – 346 с.
7. Еремин И.В., Арцер А.С., Броновец Т.М. Петрология и химико–технологические параметры углей Кузбасса. – Кемерово, 2001.
8. Кравцов А.И. О влиянии петрографического состава углей на сорбцию ими метана // Технология и экономика угледобычи. – 1966. – № 2.
9. Скочинский А.А., Ходот В.В., Эттингер И.Л. Метан в угольных пластах. – М.: Углетехиздат, 1958.
10. Угольная база России. Том II. Угольные бассейны и месторождения Западной Сибири. – М.: ООО Геоинформцентр, 2003.
11. Левенштейн М.Л. Изменение степени метаморфизма углей в стратиграфическом разрезе (правило Хильта) // Метаморфизм углей и эпигенез вмещающих пород. – М.: «Недра», 1975.
12. Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт. – Макеевка-Донбас, 1989.
13. Эттингер И.Л. Газоёмкость ископаемых углей. – М.: Недра, 1966. – 224 с.
14. Технический отчет по теме № 9 плана 1965 г. «Исследование газоёмкости углей восточных районов СССР». – Кемерово: Фонд НЦ ВостНИИ, 1965.
15. Технический отчет по теме № 3 плана 1968 г. «Изучение метаноёмкости углей Кузбасса». – Кемерово: Фонд НЦ ВостНИИ, 1968.

А.М. Timoshenko

Candidate of Technical Sciences, executive director
JSC «NC VostNII», Kemerovo
e-mail: timoshenko@nc-vostnii.ru

К.А. Timoshenko

Junior scientific worker
АО «НЦ ВостНИИ», г. Кемерово
e-mail:k.timoshenko@nc-vostnii.ru

V.V. Satonin

Deputy laboratory head
JSC «NC VostNII», Kemerovo
e-mail: v.satonin@nc-vostnii.ru

VOLATILE MATTER IN PIT COALS AND ITS INFLUENCE ON GAS EMISSION IN COAL MINES

The dependence of coal metamorphism on the volatile matter yield indicator is reviewed. The volatile matter

yield impact on the coal sorption capacity is reviewed. It is stated that the volatile matter yield isn't a reliable factor of metamorphism intensity, especially for low and highly-metamorphic coal. Using the volatile matter yield indicator in regulating documents for the forecast of coal mines gas volume by the natural gas content in coal seams results in unreliable parameters of workings ventilation.

Key words: COAL, VOLATILE MATTER, COAL METAMORPHISM, METHANE RETENTION CAPACITY OF COAL, GAS CONTENT, GAS EMISSION

REFERENCES

1. Gornoe delo. Terminologicheskij slovar (Mining.Terminological dictionary). Moscow: Nedra, 1981. 471 p.
2. Gornaya ehnciklopediya. T.1. Aa-lava (Mining encyclopaedia. Vol 1. Aa- lava). Moscow: Geosistema, 1984. 560 p.
3. Zhemchuzhnikov Yu.A. Obshchaya geologiya iskopaemyh uglej (General geology of pit coal). Moscow: Ugletekhizdat, 1948. 491p.
4. Van Krevelen, Zh. SHuer. Nauka ob ugle(Coal Science). Moscow, 1960. 304 p.
5. GOST 6382–2001. Toplivo tverdoe, mineralnoe. Metody opredeleniya vyhoda letuchih veshchestv (Method for volatile matter yield determination). Minsk: Izd-vo standartov, 2002. 17 p.
6. Yakovlev D.I. Uglekhimicheskie laboratorii (Coal Chemistry laboratories). Moscow: Ugletekhizdat, 1957. 346 p.
7. Eremin I.V., Arcer A.S., Bronovec T.M. Petrologiya i himiko–tekhnologicheskie parametry uglej Kuzbassa (Petrology and chemical-engineering characteristics of Kuzbass coal). Kemerovo, 2001.
8. Kravcov A.I. O vliyanii petrograficheskogo sostava uglej na sorbcuyu imi metana (About the influence of coal petrology on the methane sorption) // Tekhnologiya i ehkonomika ugledobychi. 1966. – № 2.
9. Skochinskij A.A., Hodot V.V., Ettinger I.L. Metan v ugolnyh plastah (Methane in coal saems). Moscow: Ugletekhizdat, 1958.
10. Ugolnaya baza Rossii. Tom II. Ugolnye bassejny i mestorozhdeniya Zapadnoj Sibiri. M.: OOO Geoinformtsentr, 2003.
11. Levenshtejn M.L. Izmenenie stepeni metamorfizma uglej v stratigraficheskom razreze (pravilo Hilta) (Change in metamorphism intensity of coal in the stratigraphic sequence (Hilt's principle) // Metamorfizm uglej i epigenez vmeshchayushchih porod. M.: «Nedra», 1975.
12. Rukovodstvo po proektirovaniyu ventilyatsii ugolnyh shaht (Coaling-station in Russia. Volume 2. Coal-mining field and coal deposits in western Siberia). Makeevka-Donbas, 1989.
13. Ettinger I.L. Gazoemkost iskopaemyh uglej (Gas retention capacity of pit coal). Moscow: 1966. 224 p.
14. Tekhnicheskij otchet po teme № 9 plana 1965 g. «Issledovanie gazoemkosti uglej vostochnyh rajonov SSSR» (Technical report on the subject №9 «Research of gas retention capacity of coal in eastern region of USSR»). Kemerovo: Fond NTS VostNII, 1965.
15. Tekhnicheskij otchet po teme № 3 plana 1968 g. «Izuchenie metanoemkosti uglej Kuzbassa» (Technical report on the subject №3. Research of methane retention capacity of coal in Kuzbass»). Kemerovo: Fond NTS VostNII, 1968.