



II РУДНИЧНАЯ АЭРОГАЗОДИНАМИКА

DOI: 10.25558/VOSTNII.2020.32.35.004

УДК 622.411.3:543.279

© П.А. Шлапаков, К.С. Лебедев, Т.М. Грачева, С.А. Хаймин, 2020

П.А. ШЛАПАКОВ

канд техн. наук,
заведующий лабораторией
АО «НЦ ВостНИИ», г. Кемерово
e-mail: shlapak1978@mail.ru



К.С. ЛЕБЕДЕВ

научный сотрудник
АО «НЦ ВостНИИ», г. Кемерово
e-mail: lebedevks1987@yandex.ru



Т.М. ГРАЧЕВА

старший научный сотрудник
АО «НЦ ВостНИИ», г. Кемерово



С.А. ХАЙМИН

старший научный сотрудник
АО «НЦ ВостНИИ», г. Кемерово
e-mail: hsa007@mail.ru



О ПРОГНОЗНОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ ОКСИДА УГЛЕРОДА И ВОДОРОДА ПРИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОМ ОКИСЛЕНИИ УГЛЯ

Проведены исследования по определению компонентов газовой фазы, в частности оксида углерода и водорода, в пробах воздуха, полученных в результате низкотемпературного окисления как угля, так и сопутствующих вмещающих пород в некоторых случаях. Установлена предполагаемая зависимость прогнозной концентрации оксида углерода и водорода от марки угля.

Ключевые слова: ДЕЗАКТИВАЦИЯ УГЛЯ, НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЕ ОКИСЛЕНИЕ, ОКСИД УГЛЕРОДА, УДЕЛЬНОЕ ГАЗОВЫДЕЛЕНИЕ, ПРОГНОЗНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ОКСИДА УГЛЕРОДА.

В процессе отработки пластов угля (склонных и несклонных к самовозгоранию) на шахтах Кузбасса в атмосфере как выработанного пространства действующих выемочных участков, так и в некоторых случаях в атмосфере участковых выработок, возможно появление микроконцентраций оксида углерода и водорода.

Основными причинами могут являться как их природное содержание в пласте или во вмещающих породах, так и выделение при низкотемпературном окислении разрыхленных потерь угля.

Как известно, процесс окисления углей может включать немалое количество элементов. При этом, в случае значительного преобладания некоторых из них, процесс может приобрести «типичную» форму:

- низкотемпературного окисления;
- среднетемпературного окисления;
- неизотермического во времени и пространстве процесса возгорания и взрыва;
- неизотермического в пространстве процесса горения [1].

Из существующих теорий самовозгорания угля наиболее полно описывает процесс окисления угля теория комплекса уголь-кислород. Данная теория, в частности, даёт весьма подробное представление о процессе низкотемпературного окисления угля кислородом воздуха, дополнительное исследование которого и является целью данной статьи.

Если в целом описать процесс низкотемпературного окисления, то, соприкасаясь с воздухом, уголь начинает окисляться уже при температуре 20–25°C. Первичным процессом дезактивации угля является сорбция последним кислорода. Поглощенный кислород образует с органической массой угля неустойчивые перекисные соединения, устойчивый рост объёма которых сопровождается некоторым выделением тепла, при отсутствии рассеивания в пространство. По мере повышения температуры кислород перекисей, реагируя с органической массой, разрушает

элементарные структурные единицы вещества угля. Процесс адсорбции переходит в хемосорбцию. Повышение температуры, в свою очередь, способствует распаду перекисей с образованием более сложных уголь-кислородных комплексов, что в дальнейшем способствует повышению температуры и ускорению окисления. Вследствие этого процессы приобретают цепной характер, и, в конечном счете, уголь самовозгорается. При распаде перекисей также происходит интенсивное выделение газообразных продуктов окисления угля — CO_2 , CO и H_2O . Наиболее подвержены окислению угли, обладающие развитой внутренней поверхностью, с повышенным количеством в макромолекулах термонеустойчивых боковых цепей, т. е. бурые и малометаморфизованные каменные угли [2].

Как известно, угольный пласт представляет собой весьма сложную природную систему уголь-газ. Газы, образовавшиеся на ранних стадиях углефикации, впоследствии почти полностью покидают угольные пласты. Иначе обстоит дело с газами, которые образовались в поздних стадиях регионального метаморфизма и возникли при тектонических процессах. Большое различие геологических условий залегания угольных пластов и геохимических процессов, сопровождающих метаморфизм углей, приводят к самым разнообразным сочетаниям газоносности пластов, состава газов и их распределения. Качественный и количественный состав газовой смеси многократно менялся на разных стадиях существования пласта. Уплотнившиеся породы кровли над пластами угля препятствовали миграции газов и создавали условия для их накопления. Вместе с тем нельзя отрицать, что медленное окисление наблюдается в верхних пластах угольных месторождений.

Представления о зональном распределении угольных газов позволяют выделить основные компоненты газов угольных пластов, их соотношение в различных зонах, а также как эти соотношения меняются для разных

пластов и разных глубин. Метан занимает главенствующее положение (газоёмкость может достигать 80,0–97,8 %), в незначительных количествах присутствует азот, углекислый газ. А также возможно присутствие водорода, оксида углерода и тяжелых углеводородов [3].

В настоящее время контролю газового состава рудничной атмосферы как в выработках действующих выемочных участков, так и выработанного пространства придается важное значение — это основной способ как контроля безопасного ведения работ на пластах угля, склонных к самовозгоранию, так и обнаружения очагов самонагревания угля. Оценка концентрации индикаторных газов при нормальной и критической температурах в результате окисления угля и угольной пыли, которая используется для расчёта прогнозного содержания оксида углерода как в атмосфере выработанного пространства, так и из скважин и из-за перемычек, является одной из основных работ перед запуском нового выемочного участка [4]. Данный метод прогноза содержания оксида углерода в атмосфере выработанного пространства действующих выемочных участков, описан в Патенте 2668091 [5].

Оксид углерода является основным индикатором процесса самонагревания угля. В качестве дополнительных индикаторных газов используют водород, предельные и непредельные углеводороды, а также радон. Содержание последнего измеряют не только в горных выработках и выработанном пространстве, но и на дневной поверхности (в приповерхностном слое), что позволяет определить местонахождение очага.

Необходимо учитывать возможность появления индикаторных газов в рудничной атмосфере без возникновения процесса самонагревания угля за счет выделения при низкотемпературном окислении, а также в результате разрушения угольного целлика как при разложении сложных молекулярных соединений, так и при десорбции вмещающих газов. Для этого предварительно определяют фоновые значения объемных процентов индикаторных газов. Их нарастающее превышение

в трех пробах при неизменном вентиляционном режиме, последовательно отобранных в контрольных точках через сутки — признак самонагревания угля [6].

Колебания объемных процентов индикаторных газов в рудничной атмосфере, происходящих по различным причинам, осложняют определение фоновых значений индикаторных газов. В свою очередь, неправильная их оценка, результатом которой может быть несвоевременное обнаружение очага самонагревания угля на ранней стадии, во-первых, в ряде случаев будет угрожать жизни и здоровью работников предприятия; во-вторых, зачастую приводит к остановке предприятия, и, как следствие, к ощутимым экономическим последствиям. Для того чтобы не допустить этого, в лабораторных условиях проводят определение прогнозного фонового содержания оксида углерода и водорода для конкретного выемочного участка по предоставленным пробам угля и дополнительно, в некоторых случаях, породам кровли [4].

Согласно методике подготовки проб, поступивших с шахты, уголь измельчают, квартуют и на ситах выделяют фракции $\{-3 + 1\}$ мм. Полученную пробу угля в количестве 90–100 г помещают в сорбционный сосуд, заполненный воздухом. Сосуд герметично закрывают и по истечении определенного времени определяют в нем содержание O_2 , CH_4 , CO , CO_2 , H_2 стандартными методами газового анализа по двум пробам угля при температуре $20 \div 25^\circ C$. Для продолжения испытания в сорбционном сосуде восстанавливают нормальный состав воздуха. Последовательно отбирают пробы газа из сосуда через 1, 3, 5, и в ряде случаев через 7 и 10 суток [7, 8].

Известно, что сопутствующим источником выделения оксида углерода и водорода являются горные породы. Поэтому образцы вмещающих пород исследуемого угольного пласта, чаще всего кровли, предоставляются в лабораторию для уточнения при определении фоновых значений оксида углерода и водорода. Методика определения газовой выделения из образцов породы аналогична методике определения газовой выделения из угля. С разницей,

что загрузка сорбционных сосудов проводится с учетом насыпной плотности исследуемой горной породы.

Количество образовавшихся газов рассчитывается по представленной ниже формуле. Данная формула является немного изменённой, относительно исходной [9], применяемой для определения количества выделившегося из угля метана:

$$G_i = \frac{C_i \cdot V \cdot 10^{-2}}{H \cdot \tau}, \text{ мл/(г} \cdot \text{ч)};$$

где C_i — концентрация образующегося газа, % (об.), V — объем воздуха в сосуде, мл; H — навеска угля (породы), г; τ — время от начала сорбции до отбора пробы воздуха, ч.

В процессе проведения лабораторных исследований производится несколько определений удельного газовыделения (G_i), дающих

ряд численных значений. Затем для каждой исследуемой пробы угля (породы) вычисляют их среднее арифметическое значение (\bar{G}_i). За конечный результат по газовыделению берется значение, усреднённое по двум параллельным пробам. Важно отметить, при расчёте значения удельного газовыделения не производилась поправка с учётом изменения температуры в комнате и колебания барометрического давления, так как, на наш взгляд, незначительные изменения данных параметров в ходе экспериментов по каждой отдельной пробе не окажут значительного влияния на итоговый результат.

Результаты некоторых лабораторных испытаний по газовыделению из угля, с указанием месяца проведения, а также значением химической активности, представлены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты удельного выделения оксида углерода и водорода из угля

Шахта, пласт, месяц	Марка угля	Удельное газовыделение, $\bar{G}_i \cdot 10^{-5}$, мл/(г ч)		Показатель химической активности угля (\bar{U}_{25}), мл/(г ч)
		CO	H ₂	
Шахта «Грамотеинская» пл. Сычевский-III, май 2015 г.	Д	5,80	0,22	0,067
Шахта «Грамотеинская» пл. Сычевский-IV, декабрь 2015 г.	Д	10,0	0,70	0,115
Шахта «Листвяжная» пл. Сычевский-IV, апрель 2012 г.	Д	8,6	0,36	0,129
Шахта «Листвяжная» пл. Грамотеинский-II, апрель 2012 г.	Д	7,48	0,43	0,110
Шахта «Алексиевская» пл. Красноорловский, апрель 2012 г.	Д	9,0	0,43	0,110
Шахта «Алексиевская» пл. Красногорский, март 2015 г.	Д	5,83	0,24	0,070
Разрез «Инской» пл. Безымянный, сентябрь 2014 г.	Д	5,31	0,22	0,075
Шахта «Колмогоровская-2» пл. Польшаевский-II, апрель 2011 г.	ДГ	5,30	0,11	0,09
Шахта «Польшаевская» пл. Толмачевский, июнь 2011 г.	Г	2,68	0,14	0,075
Шахта «Усковская» пл. 50, сентябрь 2016 г.	ГЖ	3,43	0,24	0,111
Шахта «Большевик» пл. 30, июль 2014 г.	ГЖО	2,84	0,21	0,063
Шахта им. С.Д. Тихова пл. 23, октябрь 2016 г.	Ж	2,20	0,21	0,061
Шахта «Осинниковская» пл. Е-5, июнь 2014 г.	Ж	2,00	0,21	0,050

Шахта, пласт, месяц	Марка угля	Удельное газовыделение, $\bar{G}_i \cdot 10^{-5}$, мл/(г ч)		Показатель химической активности угля (\bar{U}_{25}), мл/(г ч)
		СО	H ₂	
Шахта «Распадская-Коксовая» пл. III, октябрь 2016 г.	К	2,32	0,24	0,055
Шахта «Сибиргинская» пл. 3, ноябрь 2012 г.	ОС	1,43	0,31	0,066
Шахта «Алардинская» пл. 6, март 2015 г.	КС	2,02	0,46	0,052
Шахта «Алмазная» пл. I ₆ ^н , июнь 2004 г.	А	0,52	не обн	0,016
Шахта «Алмазная» пл. I ₆ , июнь 2004 г.	А	0,58	не обн	0,017

При этом, как было сказано выше, для уточнения прогнозного значения оксида углерода и водорода, для конкретного выемочного участка, проводятся лабораторные

испытания соответствующих проб породы. В таблице 2 приведены результаты лабораторных испытаний по газовыделению из породы.

Таблица 2

Результаты удельного выделения оксида углерода и водорода из породы

Шахта, пласт, месяц	Наименование породы	Удельное газовыделение $\bar{G}_i \cdot 10^{-5}$, мл/(г ч)	
		СО	H ₂
Шахта «Листвяжная» пл. Грамотеинский-II, апрель 2012 г.	Порода кровли	1,33	0,1
Шахта «Алексиевская» пл. Красноорловский, апрель 2012 г.	Порода кровли	1,78	0,14
Шахта «Красноярская» (в настоящее время Шахта им. А.Д.Рубана) пл. Польшаевский-II, апрель 2012 г.	Непосредственная кровля	0,8	0,15
	Ложная кровля (углистый аргиллит)	2,51	0,08
Шахта «Алексиевская» пл. Красногорский, октябрь 2012 г.	Порода кровли (алевролит)	1,37	0,03
Шахта «Заречная» пл. Байкаимский, февраль 2013 г.	Порода кровли (алевролит с переслаиванием угля)	4,09	0,24
Шахта «Бутовская» пл. Артельный, декабрь 2013 г.	Порода кровли	0,16	0,02
Шахта «Антоновская» пл. 26а, июль 2014 г.	Порода кровли (ложная кровля)	0,46	0,02
Шахта «Ерунаковская-VIII» пл. 48, март 2014 г.	Порода кровли	0,09	0,007
Шахта «Усковская» пл. 50, сентябрь 2016 г.	Порода кровли	0,15	0,02
Шахта им. А.Д.Рубана пл. Надбайкаимский, октябрь 2016 г.	Порода кровли	0,3	0,07

Из экспериментальных данных, представленных в таблице 1, видно, что наибольшее количество оксида углерода выделяется из пластов малометаморфизованных углей марки Д. При низкотемпературном окислении углей данной марки образуется оксид углерода (\bar{G}_{CO}) в пределах от $5,3 \cdot 10^{-5}$ до $10,0 \cdot 10^{-5}$ мл/(г·ч), пласт Безымянный (разрез Инской) и пласт Сычевский-IV (шахта «Грамотеинская») соответственно. Но в пределах одной марки угля число может различаться. Это можно объяснить как различием петрографической структуры исследуемых углей, когда оксид углерода является продуктом низкотемпературного окисления, так и возможным отличием объёма десорбируемого газа из структуры угля. С повышением степени метаморфизма углей (марки Г, ГЖО, Ж, К, ОС, КС) выделение оксида углерода уменьшается. Пределы значений \bar{G}_{CO} ($1,4 \div 3,4$) $\cdot 10^{-5}$ мл/(г·ч). При окислении угля марки А пласт l_6 (шахта «Алмазная») оксида углерода образуется на порядок меньше: $0,5 \cdot 10^{-5}$ мл/(г·ч).

К вышесказанному следует дополнить, что аналогичная закономерность была установлена для константы скорости сорбции кислорода при определении химической активности углей \bar{U}_{25} , которая была тем выше, чем ниже стадия метаморфизма каменного угля [1]. Также отметим, что прямая корреляция зависимости объёма выделившегося оксида углерода в результате низкотемпературного окисления угля от химической активности не всегда имеет место, что говорит о том, что не весь объём оксида углерода является продуктом реакции.

Следует отметить, что водород также присутствует в угольных пластах. Газовыделение водорода (\bar{G}_{H_2}) из угля значительно меньше оксида углерода и составляет $(0,1 \div 0,7) \cdot 10^{-5}$ мл/(г·ч); но в основном значения \bar{G}_{H_2} находятся в пределах $(0,2 \div 0,4) \cdot 10^{-5}$ мл/(г·ч). Значительное газовыделение водорода было зафиксировано

у пласта Сычевский-IV шахта «Грамотеинская» и составляло $0,7 \cdot 10^{-5}$ мл/(г·ч), как видно из таблицы 1.

В результате анализа состава газа и сопоставления полученных данных из таблицы 1 возможно допустить, что количество образующегося оксида углерода при низкотемпературном окислении угля для каждого шахтопласта (для каждой марки угля) может иметь определенное интервальное значение.

Как видно из таблицы 2, количество выделившегося оксида углерода из образцов породы с разных шахт значительно различается и находится в пределах $(0,1 \div 4,1) \cdot 10^{-5}$ мл/(г·ч). Количество водорода на порядок меньше и составляет $(0,01 \div 0,2) \cdot 10^{-5}$ мл/(г·ч). Стоит обратить внимание, что в ряде случаев объём оксида углерода, выделившегося из породы, может быть сопоставим с объёмом выделившегося оксида углерода при низкотемпературном окислении высокометаморфизованных углей. Предположительно, интенсивность газовыделения зависит от типа коллектора (угленосный горизонт), вида и степени его газонасыщения, а также различия химической реакционной способности вмещающих пород. Следовательно, в ряде случаев при определении прогнозного фоновое содержания оксида углерода и водорода в атмосфере выработанного пространства действующих выемочных участков необходимо предоставлять пробы породы кровли для уточнения расчётных прогнозных фоновых значений.

Для подтверждения возможного положения о том, что при низкотемпературном окислении угля количество образующегося оксида углерода может иметь определенное интервальное значение для конкретной марки, рассмотрим пример шахты «Листвяжная», пласт Сычевский-IV. На рисунке 1 приведены результаты по выделению оксида углерода (\bar{G}_{CO}) из угля пласта Сычевский-IV (марка Д) в динамике по годам.

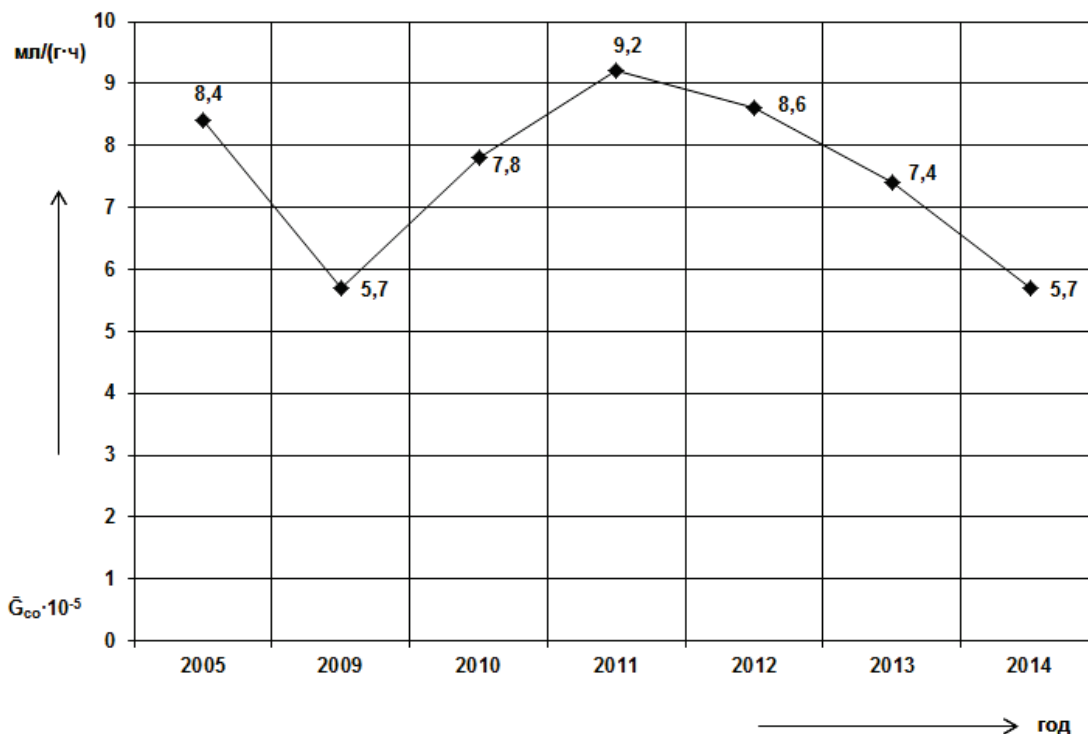


Рис. 1. Изменение удельного газовыделения оксида углерода из угля пласта Сычѳевский-IV в динамике по годам, определяемого для различных выемочных участков в пределах одного пласта

Как видно из графика, выделение оксида углерода (\bar{G}_{CO}) из угля пласта Сычѳевский-IV за исследуемый период времени, 2005–2014 годы, изменялось в пределах $(5,7 \div 9,2) \cdot 10^{-5}$ мл/(г·ч). Количество выделившегося водорода оставалось в пределах $(0,3 \div 0,4) \cdot 10^{-5}$ мл/(г·ч). Следует добавить, что константа скорости сорбции кислорода (\bar{U}_{25}) для исследуемых проб угля составляла по годам: 0,066 мл/(г·ч) — 2005 г.; 0,060 мл/(г·ч) — 2009 г.; 0,122 мл/(г·ч) — 2010 г.; 0,104 мл/(г·ч) — 2011 г.; 0,129 мл/(г·ч) — 2012 г.; 0,060 мл/(г·ч) — 2013 г.; 0,113 мл/(г·ч) — 2014 г. В результате гипотеза об определённом интервальном значении выделяющегося оксида углерода подтверждается. Вместе с тем, как было сказано выше, не всегда высокая химическая активность влияет на объём выделившегося оксида углерода, что говорит о различии объёма CO, десорбирующегося из угля и не являющегося продуктом реакции. Но это цель дальнейших исследований. Таким образом, учитывая, что угольный пласт формировался длительное время, в этот период протекали разные геохимические процессы, что также могло послужить причиной раз-

личного газового состава в угольном пласте для проб, отобранных в различных местах [3].

На основании проведѳенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. При определении прогнозных фоновых значений оксида углерода и водорода для конкретного выемочного участка необходимо тщательно подходить к выбору места отбора угля, чтобы снизить вероятность формирования заведомо окисленной пробы последнего, что позволит достоверно рассчитать рабочую концентрацию оксида углерода в выработанном пространстве и скважинах.

2. Можно утверждать, что количество образующегося оксида углерода и водорода при низкотемпературном окислении угля зависит от степени метаморфизма угля, при этом не будет проследиваться прямая корреляция зависимости от химической активности \bar{U}_{25} (значения константы скорости сорбции кислорода углем).

3. Получило подтверждение предположение о том, что каждой марке угля будет соответствовать определенный интервал значений оксида углерода и возможно водорода.

4. Установлено, что вмещающие угольный пласт породы являются дополнительным источником природного содержания СО и Н₂, при этом водорода из угольного пласта и пород выделяется значительно меньше, чем оксида углерода.

5. Экспериментально подтверждено, что при расчёте прогнозной концентрации окси-

да углерода и водорода для определённого выемочного участка, в ряде случаев необходимо определять наличие последних в породах, так как зачастую объём СО, выделившегося из породы, может быть сопоставим с объёмом выделившегося оксида углерода при низкотемпературном окислении высокометаморфизированных углей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Веселовский В.С., Алексеева Н.Д., Виноградова Л.П., Орлеанская Г.Л., Терпогосова Е.А. Самовозгорание промышленных материалов. М.: Наука, 1964. 246 с.

2. Линденау Н.И., Маевская В.М., Крылов В.Ф. Происхождение, профилактика и тушение эндогенных пожаров в угольных шахтах. М.: Недра, 1977. 318 с.

3. Эттингер И.Л. Газоёмкость ископаемых углей. М.: «Недра», 1966. 224 с.

4. Инструкция по предупреждению эндогенных пожаров и безопасному ведению горных работ на склонных к самовозгоранию пластах угля (Приказ Ростехнадзора от 16 декабря 2015 года № 517).

5. Патент 2668091 Российская Федерация, МПК E21F 5/00. Способ прогноза содержания оксида углерода в атмосфере выработанного пространства выемочных участков угольных шахт / заявитель Шлапаков П.А., Шлапаков Е.А., Хаймин С.А., Ерастов А.Ю.; правообладатель Шлапаков Павел Александрович. № 2017141211; заявл. 27.11.2017; опубл. 28.09.2018.

6. Игишев В.Г., Лагутин В.Г., Портола В.А., Галицкая А.И., Игишева А.А. Методика определения фона индикаторных газов в выемочных полях шахт России. Кемерово: РосНИИГД, 1997. 17 с.

7. Веселовский В.С., Виноградова Л.П., Орлеанская Г.Л., Терпогосова Е.А. Методическое руководство по прогнозу и профилактике самовозгорания угля. М., 1971. 60 с.

8. Инструкция по определению инкубационного периода самовозгорания угля (с изменениями на 22 июня 2016 года) (Приказ Ростехнадзора от 2 апреля 2013 года № 132).

9. Веселовский В.С., Виноградова Л.П., Орлеанская Г.Л., Терпогосова Е.А., Одиноква Л.В., Сухова Л.Ф. Прогноз и профилактика эндогенных пожаров. М.: Наука, 1964. 160 с.

DOI: 10.25558/VOSTNII.2020.32.35.004

UDC 622.411.3:543.279

© P.A. Shlapakov, K.S. Lebedev, T.M. Gracheva, S.A. Khaymin, 2020

P.A. SHLAPAKOV

Candidate of Engineering Sciences,

Head Of Laboratory

JSC «NC VostNII», Kemerovo

e-mail: shlapak1978@mail.ru

K.S. LEBEDEV

Research Associate

JSC «NC VostNII», Kemerovo

e-mail: lebedevks1987@yandex.ru

T.M. GRACHEVA

Senior Research Associate
JSC «NC VostNII», Kemerovo

S.A. KHAYMIN

Senior Research Associate
JSC «NC VostNII», Kemerovo
e-mail: hsa007@mail.ru

PREDICTED CONCENTRATION OF CARBON MONOXIDE AND HYDROGEN IN LOW-TEMPERATURE COAL OXIDATION

Researchers have been carried out to determine the components of the gas phase, in particular carbon monoxide and hydrogen, in air samples obtained as a result of low-temperature oxidation of both coal and concomitant enclosing rocks in some cases. The expected dependence of the predicted concentration of carbon monoxide and hydrogen on the grade of coal has been established.

Keywords: CARBON DEACTIVATION, LOW-TEMPERATURE OXIDATION, CARBON MONOXIDE, SPECIFIC GAS RELEASE, PREDICTED CARBON MONOXIDE CONTENT.

REFERENCES

1. Veselovsky V.S., Alekseeva N.D., Vinogradova L.P., Orleanskaya G.L., Terpogosova E.A. Self-burning of industrial materials. M.: Science, 1964. 246 p. (In Russ.).
2. Lindenau N.I., Maevskaya V.M., Krylov V.F. Origin, prevention and extinguishing of endogenous fires in coal mines. M.: «Nedra», 1977. 318 p. (In Russ.).
3. Ettinger I.L. Gas intensity of fossil coals. M.: «Nedra», 1966. 224 p.
4. Instruction on Prevention of Endogenous Fires and Safe Mining of Self-Igniting Coal Formations (Rostekhnadzor Order No. 517 of 16 December 2015). (In Russ.).
5. Patent 2668091 Russian Federation, MPK E21F 5/00. A way of the forecast of content of carbon oxide in the atmosphere of the developed space of extraction sites of coal mines / applicant Shlapakov P.A., Shlapakov E.A., Haiming S.A., Erastov A.Yu.; owner Shlapakov Pavel Aleksandrovich. No 2017141211; declare 27.11.2017; publ. 28.09.2018. (In Russ.).
6. Igishev V.G., Lagutin V.G., Portola V.A., Galitskaya A.I., Igishev A.A. Method of determining the background of indicator gases in mining fields of mines in Russia. Kemerovo: RosNIIGD, 1997. 17 p. (In Russ.).
7. Veselovsky V.S., Vinogradova L.P., Orleanskaya G.L., Terpogosova E.A. Methodological Manual on Coal Self-Ignition Forecast and Prevention. M, 1971. 60 p. (In Russ.).
8. Instruction on determination of incubation period of coal self-combustion (as amended on June 22, 2016) (Order of Rostekhnadzor of April 2, 2013 № 132). (In Russ.).
9. Veselovsky V.S., Vinogradova L.P., Orleanskaya G.L., Terpogosova E.A. Odinokova L.V., Sukhova L.F. Prediction and prevention of endogenous fires. M.: Science, 1964. 160 p. (In Russ.).