

Клюев Э.С.
(ИГТМ НАН Украины)

**ДИНАМИКА ГАЗОВЫДЕЛЕНИЯ ИЗ УГЛЕСОДЕРЖАЩИХ
МАТЕРИАЛОВ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ТЕПЛООВОГО ПОЛЯ**

Клюев Е.С.
(ИГТМ НАН України)

**ДИНАМІКА ГАЗОВИДІЛЕННЯ З ВУГЛЕВМІСНИХ
МАТЕРІАЛІВ ПІД ДІЄЮ ТЕПЛООВОГО ПОЛЯ**

Kliuiev E.S.
(IGTM NAS of Ukraine)

**DYNAMICS OF GAS RELEASE FROM COAL-CONTAINED
MATERIALS
UNDER ACTION OF THERMAL FIELD**

Аннотация. В статье представлены результаты опытов по динамике газовой выделению и состава летучих при тепловом воздействии с целью разработки техногенных месторождений угольного шлама и некондиционного угля.

Методика лабораторных исследований заключалась в нагреве углесодержащих материалов и их бинарных смесей без доступа воздуха с определением объема и состава газовой фазы в зависимости от времени и температуры процесса. Приведен расчет суммарного количества летучих, выделяющееся к определенному моменту времени, для изотермических и неизотермических условий с учетом скорости нагрева и кинетических параметров. Указаны причины колебания содержания компонентов газовой фазы. Полученные результаты могут применяться для обоснования параметров при разработке модели тепловых процессов переработки углесодержащих материалов.

Ключевые слова: термическое воздействие, углесодержащий материал, газовой выделение, состав летучих, газовой фазы.

В последнее время особую актуальность приобретают научные исследования по изучению свойств и состояния техногенных месторождений угольного шлама и некондиционного угля, а также поиску эффективных способов их разработки путем воздействия внешнего теплового поля.

Обзор существующих физических моделей [1-3] показал, что термическое воздействие является одним из перспективных вариантов переработки углесодержащих материалов с получением газообразных продуктов. Такие процессы представляет собой комплекс сложных физико-химических превращений, происходящих как на внешней поверхности, так и внутри пористого объема частиц. При этом возникают трудности при расчете состава газовой фазы в зависимости от температуры и времени, причем необходимые кинетические характеристики известны лишь в узком температурном диапа-

зоне и еще полностью не обобщены. Поэтому установление кинетических закономерностей изменения состояния и свойств угольного шлама и некондиционного угля при тепловом воздействии представляет не только научный интерес, но имеет важное практическое значение для совершенствования существующих технологий переработки углесодержащих материалов.

В качестве объектов исследования использовали львовский сапропелевый уголь (шахта “Відродження”, пласт n_8) и угольный шлам, отобранный на ЦОФ “Червоноградская” ЗАО “Львовсистемэнерго”, качественные характеристики которых представлены в табл. 1.

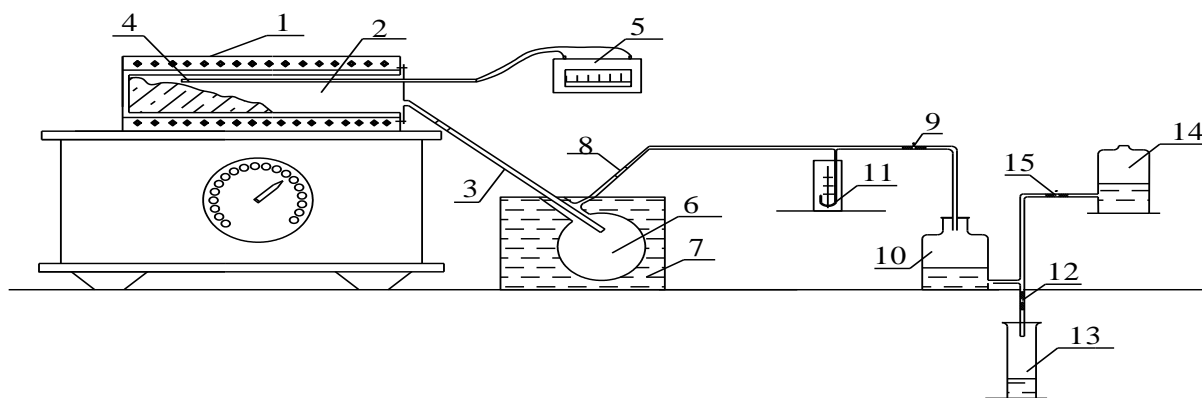
Таблица 1 – Результаты элементного и технического анализа

Исследуемое сырье	$C^p, \%$	$H^p, \%$	$N^p, \%$	$O^p, \%$	$S^p_{\text{общ}}, \%$	$W^p, \%$	$A^d, \%$	$V^{\text{daf}}, \%$	ММ*, %	$Q_p^H, \text{МДж/кг}$
Сапропелевый уголь	34,8	2,5	0,7	3,2	0,3	1,8	56,7	52,2	62,8	12,2
Шлам, проба № 2	26,9	3,1	2,8	19,5	1,7	2,1	43,9	33,1	49,6	13,6
Шлам, проба № 3	26,2	3,1	2,8	19,8	1,7	1,6	44,8	37,6	50,6	15,0
Шлам, проба № 8	25,6	3,0	2,9	19,9	1,8	1,4	45,4	34,7	51,4	15,5
Шлам усредненный	26,8	1,8	2,9	20,4	2,8	1,2	44,1	39,9	50,7	13,0

* ММ – содержание минеральных примесей в пробе.

Методика лабораторных исследований заключалась в изучении динамики газовыделения в условиях вакуума при тепловом воздействии на исходные углесодержащие материалы и их бинарные смеси в различных соотношениях. При этом производили определение выхода и состава газовой фазы в зависимости от температуры процесса и исходного сырья [4].

Схема лабораторной установки приведена на рис 1.



- 1 – электropечь; 2 – реторта; 3 – отводная трубка реторты; 4 – термопара;
 5 – гальванометр; 6 – приёмная колба; 7 – сосуд с охлаждающей смесью;
 8 – газоотводная трубка колбы; 9 – вентиль; 10 – газометр;
 11 – U-образный манометр; 12 – вентиль; 13 – цилиндр мерный;
 14 – уравнивающий сосуд; 15 – вентиль.

Рис. 1 – Схема лабораторной установки

В печь 1 устанавливается реторта 2, куда помещается заранее определенное количество углесодержащего материала. Реторта представляет собой цилинд-

рическую толстостенную емкость, изготовленную из жаропрочной стали, которая состоит из съемной крышки и специальной газоотводной трубки 3 с приваренным к ней чехлом термопары 4. К газоотводной трубке присоединяется приемная колба 6, помещенная в сосуд 7 с охлаждающей жидкостью.

Температура в печи фиксировалась с помощью термопары и гальванометра. Давление, при котором происходит тепловой процесс, измерялось водяным манометром 11, и поддерживалось путем дозированного сливания воды в водомерный цилиндр 13. Посредством двойной бюретки с водяной рубашкой измеряли объём полученного газа.

Выход продуктов реакции определяли следующим образом. Пробу материала всыпали во внутрь реторты, закрывали крышкой, которую затягивали болтами для герметизации и нагревали, соблюдая определённый режим подъёма температуры. Жидкие продукты, выделяющиеся при нагревании пробы, конденсировались в приёмной колбе 6, а газы, проходя через отводную трубку колбы 8, поступали в газометр 10 для дальнейшего анализа. После проведённого опыта твёрдый остаток в реторте отдельно взвешивали. Приёмную колбу также взвешивали вместе с продуктами конденсации, а их количество определяли по разности веса колбы после проведения эксперимента и до него. Количество образовавшегося газа находили косвенным путём, вычитая из веса исходной пробы вес жидких продуктов и твёрдого остатка. В рамках данной работы не анализируются вещественный состав и свойства жидких продуктов и твёрдого остатка, достаточно полно освещенные в работе [5]. Отдельный сбор и анализ пирогенетической влаги не проводился.

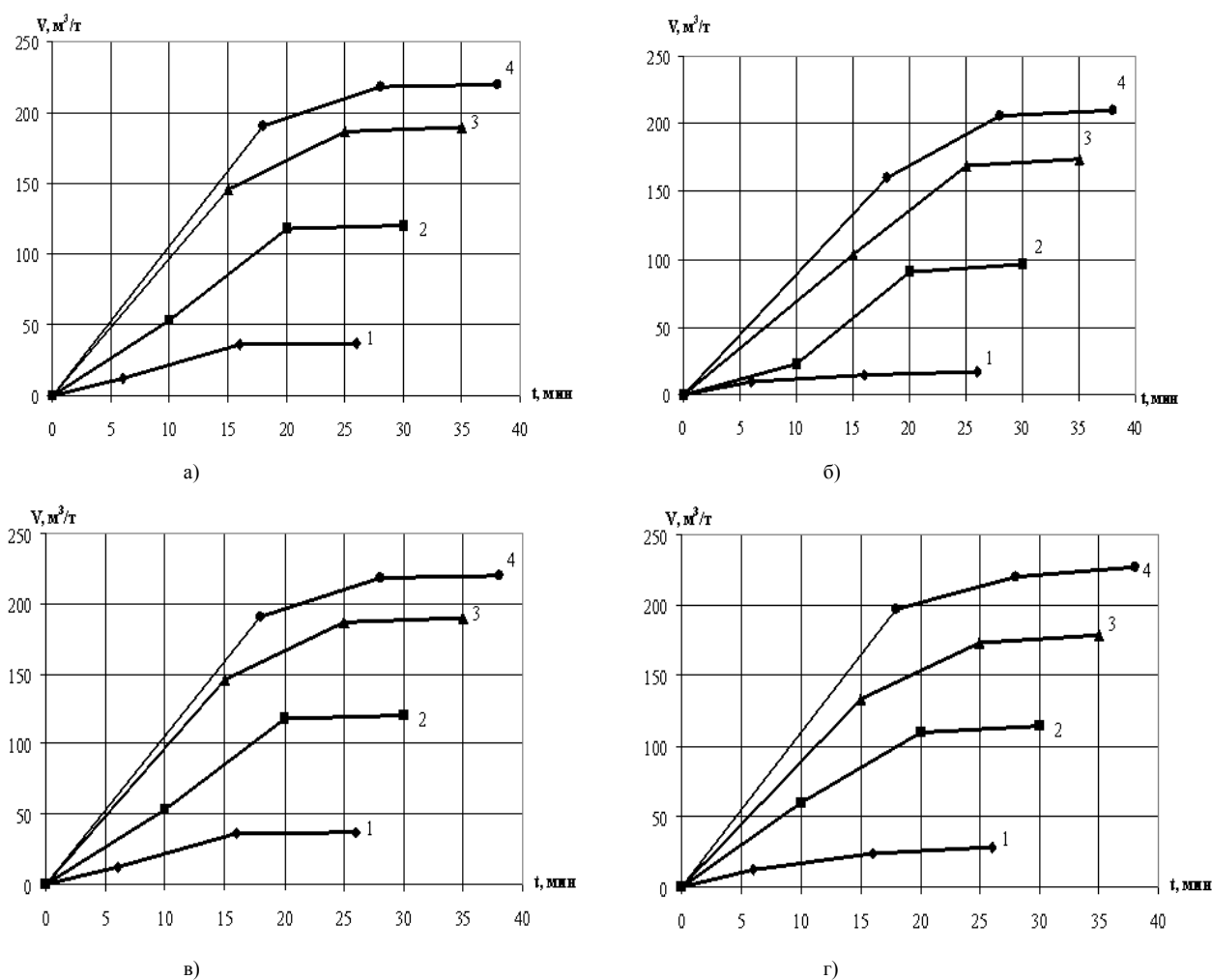
Несконденсированная часть летучих направлялась по газоотводной трубке для определения их химического состава. С этой целью использовали специальный аппарат, в котором имелось семь одинаковых поглотительных сосудов-пипеток, наполненных пучком стеклянных трубок для увеличения поверхности соприкосновения анализируемого газа с жидкими реактивами:

- сосуд с 33%-ным раствором едкого калия для поглощения углекислоты CO_2 и сероводорода H_2S ;
- сосуд с 20%-ным раствором бромистого калия, насыщенным жидким бромом, для поглощения непредельных углеводородов C_nH_m ;
- сосуд со щелочным раствором пирогаллола (180 мл дистиллированной воды, 60 г пирогаллола и 60 г едкого калия) для поглощения кислорода O_2 ;
- сосуд с аммиачным раствором полухлористой меди (110 мл 25%-ного водного раствора хлористого аммония, 32 г однохлористой меди, 80-110 мл водного раствора аммиака) для поглощения монооксида углерода CO ;
- сосуд с 10%-ным раствором серной кислоты для поглощения из анализируемого газа паров аммиака, образующихся в газе после прохождения через пипетку с аммиачным раствором полухлористой меди;
- сосуд с 22%-ным раствором поваренной соли, служащий приёмником для газа при сжигании водорода H_2 ;
- сосуд с 33%-ным раствором едкого калия, служащий приёмником для газа и поглощения двуоксида углерода при сжигании метана CH_4 .

Оставшийся газ (азот N_2) замеряли после сжигания метана и водорода в предварительно охлажденной установке.

Таким образом, на установке проводили анализ и определяли количественное содержание следующих компонентов газовой фазы: углекислоты и сероводорода (одновременно) $CO_2 + H_2S$, непредельных углеводородов C_nH_m , кислорода O_2 , монооксида углерода CO , водорода H_2 , метана CH_4 , азота N_2 .

Результаты опытов по изучению динамики газовой фазы представлены в виде кривых изменения выхода газовой фазы для четырех температурных интервалов в зависимости от времени процесса (рис. 2).



а – сапропелевый уголь; б – угольный шлак;

в – бинарная смесь сапропелевый уголь: угольный шлак = 1: 1;

г – бинарная смесь сапропелевый уголь: угольный шлак = 2: 1

Рис. 2 – Динамика газовой фазы в процессе термического воздействия на углеродсодержащие материалы при конечной температуре 673 К (1), 873 (2), 1073 (3) и 1173 (4)

Из рис. 2 можно судить о равномерности процесса выделения газовой фазы при тепловом воздействии на углеродсодержащие материалы. Так, кривая 1, описывающая данный процесс при температуре 673 К, характеризуется линейным нарастанием в силу весьма незначительного количества выделяю-

щихся газов. Увеличение угла наклона кривых 2, 3 и 4 свидетельствует о возросшей интенсивности выхода газовой фазы в начале теплового процесса. Установлено, что в количественном соотношении динамика газовой фазы для различных групп материалов и их бинарных смесей практически одинакова. Максимум газовой фазы отмечается при температуре 1173 К и для сапропелевого угля составляет 220,1 м³/т, для угольного шлама – 210 м³/т, для бинарной смеси сапропелевого угля и угольного шлама в соотношении 1: 1 – 221,5 м³/т, а при соотношении 2: 1 – 227 м³/т.

Теоретически процесс газовой фазы представляет собой разрыв физико-химических связей, проходящий при определенных температурных условиях и с определенной скоростью внутри пористой структуры угольного вещества, с последующим образованием конечных продуктов реакции [6].

Математически этот процесс можно описать через количество летучих веществ, выделяющихся за определенное время. Тогда для изотермических условий процесса ($T = \text{const}$) получаем

$$V = V_o \sum_{i=1}^n C_{oi} (1 - e^{-k_i \tau}), \quad (1)$$

где V – суммарное количество летучих, выделяющееся к моменту времени τ ; V_o – суммарное количество летучих, которое определяется опытным путем при техническом анализе углесодержащего материала; n – число групп реакций, учитываемое при описании процесса газовой фазы; k_i – константа скорости реакции; C_{oi} – количественная характеристика определенной группы реакций. Если принять C_{oi} в относительных единицах (т.е. $C_{o1} + C_{o2} + \dots + C_{on} = 1$), то $0 \leq V \leq 1$.

Согласно уравнению С. Аррениуса константа скорости реакции, характеризующей разрушение связей данной группы, определяется из выражения

$$k_i = k_{oi} e^{-E_i/RT}, \quad (2)$$

где k_{oi} – предэкспоненциальный множитель, зависящий от полного числа соударений молекул в угольном веществе; E_i – энергия активации группы реакций; R – универсальная газовая постоянная.

В случае, когда температура T является функцией времени, то решение задачи усложняется и суммарное количество летучих, выделившееся за время τ , определяется зависимостью

$$V = V_o \sum_{i=1}^n C_{oi} \left(1 - e^{-\int_0^{\tau} k_{oi} e^{-E_i/[RT(\tau)]} d\tau} \right). \quad (3)$$

Если функцию $T(\tau)$ аппроксимировать линейной зависимостью, то интеграл в формуле (3) решается следующим образом:

$$\int_0^{\tau} k_{oi} e^{-E_i/[RT(\tau)]} d\tau = \frac{k_{oi} E_i}{2,303 R b} \left[H\left(\frac{2,303 R T}{E_i}\right) - H\left(\frac{2,303 R T_o}{E_i}\right) \right], \quad (4)$$

где b – скорость подъема температуры; T_o, T – начальная и текущая температура процесса, соответственно.

Значения функции $H(r)$ для случая, когда $r > 0,175$, определяются по упрощенной формуле

$$H(r) = r \cdot 10^{-1/r} + 2,303 E_i (-2,303/r), \quad (5)$$

где E_i – функция Эйкина.

Вычислив по выражению (4) значения интегралов для заданной температуры процесса, можно по формуле (3) определить количество летучих веществ, выделившееся к моменту достижения данной температуры или по истечению

однозначно связанного с ней времени. Значения функции $Ei(-x) = -\int_x^{\infty} \frac{e^{-t}}{t} dt$

приводятся в таблицах математических функций. Приведенные уравнения (1) и (3) позволяют вычислить суммарный выход летучих во времени в зависимости от температуры процесса при тепловом воздействии на углесодержащие материалы.

Для определения состава летучих по вышеприведенной методике проводились отдельные опыты, результаты которых приведены в табл. 2.

Как видно из табл. 2, состав газовой фазы при тепловом воздействии на углесодержащие материалы и их бинарные смеси колеблется в широких пределах. Причиной этого являются деструктивные процессы, связанные с разрывом химических связей в угольном веществе. Для точного определения выхода того или иного компонента газовой фазы при тепловом воздействии следует учитывать совокупность реакций, которые, с одной стороны, приводят к образованию данного вещества, а с другой – ведут к его разложению.

Таблица 2 – Количество и состав газовой фазы при термическом воздействии на углесодержащее сырье

Исследуемое сырье	Конечная	Газ			Степень кон-
		УДЕЛЬ	Состав, % (об.)	Теплота	

	тем- пера- тура, °С	НЬИ ВЫХОД М ³ /Т	СО ₂	С _n Н _m	О ₂	СО	Н ₂	СН ₄	Ν ₂	сгора- ния, Q _n ^p , МДж/м ³	вер- сии ОМ, %
Сапро- пеле- вый уголь	400	37,3	4,4	1,2	13,2	19,7	11,7	6,5	43,3	6,724	12,0
	600	120,3	24,8	4,7	3,6	12,0	18,9	10,9	25,1	10,244	31,4
	800	189,5	18,5	2,3	2,8	23,6	32,8	7,2	12,8	10,468	41,6
	900	220,1	17,5	2,9	2,0	22,0	33,5	7,2	14,9	10,696	45,8
Шлам усред- нённый	400	17,5	–	–	16,4	1,7	–	0,9	81,0	0,537	6,6
	600	96,0	4,9	4,1	6,4	4,7	1,9	25,1	52,9	12,268	16,9
	800	174,0	6,3	2,7	1,0	14,0	6,9	53,1	16,0	23,148	28,2
	900	210,0	7,3	2,6	0,6	17,9	48,5	14,0	9,1	14,058	29,7
Шлам: уголь = 1: 1	400	24,4	5,4	2,6	2,3	5,8	15,3	49,2	19,4	21,545	9,3
	600	107,0	19,0	3,2	2,2	7,5	19,3	26,7	22,1	14,487	26,6
	800	182,0	14,2	2,6	0,7	14,8	33,9	14,2	19,6	12,154	34,0
	900	221,5	9,8	2,2	2,0	18,5	44,9	13,6	9,0	13,359	34,6
Шлам: уголь = 1: 2	400	28,0	2,7	2,5	1,7	8,5	37,0	23,2	24,4	14,857	18,4
	600	114,0	5,5	3,5	0,8	9,5	40,0	25,5	15,2	16,722	30,4
	800	178,5	6,0	2,8	1,0	10,2	48,2	21,7	10,1	15,922	44,8
	900	227,0	4,7	1,9	1,3	14,8	45,0	20,9	11,4	15,339	47,6

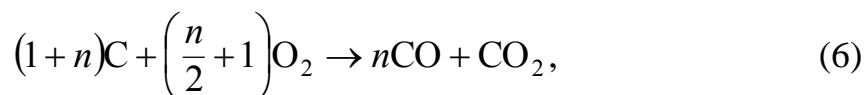
В ходе проведения исследований установлено, что вначале происходит выделение слабосорбированных газов, состоящих в основном из молекулярного азота N_2 и диоксида углерода CO_2 . Согласно полученным данным при температурах выше 873 К содержание CO_2 в газовой фазе снижается. Теоретически диоксид углерода в газе не должен содержаться, так как при высоких температурах в реакционной зоне и наличии раскаленного твердого остатка данное веще-

ство должно восстанавливаться до окиси углерода по реакции: $C + CO_2 \rightarrow 2CO$. Поскольку в наших опытах температура газовой фазы значительно ниже температуры твердого остатка, этот процесс практически не наблюдается, чем объясняется присутствие заметного количества двуокиси углерода в начале экспериментов.

Доказано, что колебания содержания в газе ненасыщенных углеводородов C_nH_m обусловлено взаимно накладывающимися процессами их разложения и образования из метана и его гомологов.

Повышение содержания CO с ростом температуры в большей степени зависит от совместного протекания многочисленных эндотермических реакций, что связано с разрушением слабых кислородсодержащих групп.

Экспериментально доказано, что CO_2 и CO образуются одновременно, их соотношение зависит от термического режима процесса, и брутто-реакцию представляют в виде



где n – величина, характеризующая полноту выгорания углерода до CO_2 ; если $n = 0$, то единственным продуктом реакции является CO_2 , если $n \gg 1$ – образуется CO.

При повышении температуры и понижении давления отношение CO/CO_2 увеличивается, а его величину можно найти по уравнению С. Аррениуса

$$n = CO / CO_2 = A \exp(-E / RT), \quad (7)$$

где A – экспериментальная константа; E – энергия активации; R – универсальная газовая постоянная; T – температура.

Для предварительной оценки можно пользоваться многочисленными эмпирическими выражениями вида [6]

$$n = 2,511 \cdot 10^3 \exp(-51550 / RT),$$

$$n = 2,766 \cdot 10^3 \exp(-52685 / RT).$$

Расчетным путем установлено, что при температуре до 500 К соотношение $CO:CO_2$ равно 0, а при 800 К – приближается к единице.

В ходе обработки опытных данных установлено, что значительное и все

увеличивающееся выделение водорода во всем исследованном диапазоне температур объясняется пиролизом метана, идущего по реакции: $CH_4 \rightarrow C + 2H_2$, что, помимо этого, способствует снижению содержания метана в газовой фазе.

Результаты проведенных теоретических и экспериментальных исследований показывают, что состав газовой фазы подвержен значительным колебаниям и может изменяться в зависимости от трех следующих причин:

- степень метаморфизма исследуемого материала, что оказывает заметное влияние на состав получаемого газа; в высокотемпературных процессах, скорее всего, это влияние менее заметно;

- температура процесса, которая, в первую очередь, определяет соотношение между водородом и углеводородами; чем выше температура процесса, тем больше в газовой фазе водорода и окиси углерода, а количество остальных компонентов – несколько снижается.

- количество воздуха и продуктов реакции, попадающих в реакционную зону; всасываемый кислород вступает во взаимодействие с составными частями газа и твердым остатком, что приводит к увеличению содержания углекислого газа и азота.

На основании выполненных лабораторных опытов по изучению динамики газовой выделенной и состава газовой фазы при тепловом воздействии на углесодержащие материалы и их бинарные смеси можно сделать следующие выводы:

1. Динамика газовой выделенной для сапропелевого угля, угольного шлама и их бинарных смесей оказалась одинаковой. В этой связи в бинарных смесях, по сравнению с «чистым» материалом, при тепловом воздействии процессы образования газовой фазы не взаимосвязаны, что подтверждается отсутствием интервалов газовой выделенной, соответствующие углю и шламу в отдельности (рис.2).

2. Доказана пригодность использования методики расчета суммарного выхода летучих при тепловом воздействии на углесодержащие материалы в зависимости от времени, начальной и текущей температуры процесса с учетом скорости нагрева и кинетических параметров.

3. Составы газовой фазы для различных групп материалов колеблются в широких пределах, что связано со снижением содержания диоксида углерода и метана, а также ростом окиси углерода и водорода с увеличением температуры.

4. Показатели объема газовой выделенной и состава газовой фазы в различных температурных интервалах могут служить обоснованием для разработки режима переработки углесодержащих материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Влияние условий нагрева низкосортных углей и отходов углеобогащения на продукты термодеструкции / В.Л. Приходченко, Е.А. Слащева, В.Я. Осенний [и др.] // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. трудов.- 2010. – Вып. 89. – С. 65 – 72.

- 2 Mountouris, A., Voutsas, E. And Tassios, D. (2008), “Plasma gasification of sewage sludge: Process development and energy optimization”, *Energy Conversion and Management*, no 49, pp. 2264 – 2271.

3. Сидоров, А.Е. Горение угольных пылей / А.Е. Сидоров, А.Н. Золотко, В.Г. Шевчук [и др.] // Физика аэродисперсных систем: Межвед. Сб. науч. Трудов / Одесский национальный университет им. И.И. Мечникова. – Одесса: Астропринт, 2008. – № 45. – С. 35 – 44.

4. Энерготехнологическая переработка низкосортных углей и отходов углеобогащения / А.Т. Ку-

рносков, В.Л. Приходченко, В.Я. Осенний и др. // Геотехническая механика: Межвед. Сб. научн. трудов. – 2010. – Вып. 88. – С. 81 – 86.

5. Булат, А.Ф. Обоснование энерготехнологического способа утилизации угольных шламов и некондиционных углей / А.Ф. Булат, В.Л. Приходченко, Э.С. Ключев // Материалы 8-ой Международной конференции «Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики» (1 - 2 ноября 2012 г.). – Тула: ТулГУ, 2012. – С. 531-539.

6. Основы практической теории горения / В.В. Померанцев, К.М. Альфредов, Д.Б. Ахмедов [и др.]; под ред. В.В. Померанцева. – Л.: Энергоатомиздат, 1986. – 312 с.

REFERENCES

1. Prihodchenko, V.L., Slashcheva, Ye.A., Osenniy, V.Ya., Koval, N.V. and Kliuiev, E.S. (2010), “The influence of heating conditions of low-grade coals and coal slimes on thermal degradation products”, *Geotekhnicheskaya Mekhanika* [Geo-Technical Mechanics], no 89, pp. 65-72.

2. Mountouris, A., Voutsas, E. and Tassios, D. (2008), “Plasma gasification of sewage sludge: Process development and energy optimization”, *Energy Conversion and Management*, no. 49, pp. 2264 – 2271.

3. Sidorov, A. Ye., Zolotko, A.N., Shevchuk, V.G. and Munitsa, V.S. (2008), “Combustion of coal dusts”, *Fizika aerodispersnyh sistem* [Physics of aerodisperse systems], no. 45, pp. 35-44.

4. Kurnosov, A.T., Prihodchenko, V.L., Osenniy, V.Ya., Koval, N.V. and Kliuiev, E.S. (2010), “Energotekhnological processing of low-grade coals and coal slimes”, *Geotekhnicheskaya Mekhanika* [Geo-Technical Mechanics], no 88, pp. 81-86.

5. Bulat, A.F., Prihodchenko, V.L. and Kliuiev, E.S. (2012), “Justification of energotechnological method of coal slimes and low-grade coals utilization”, *Proc. of 8-th Int. conf. “Socio-economic and environment problems of mining industry, building and energetics”*, Tula State University, Tula, 1-2 November 2012, Vol. 2, pp. 531-539.

6. Pomerantsev, V.V., Alfredov, K.M. and Ahmedov, D.B. (1986), *Osnovy prakticheskoy teorii goreniya* [Fundamentals of practical combustion theory], in Pomerantsev V.V. (ed.), Energoatomizdat, Leningrad, USSR.

Об авторах

Ключев Эдуард Сергеевич, аспирант, инженер в отделе проблем разработки месторождений на больших глубинах, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепропетровск, Украина, eduard_2105@mail.ru

About the authors

Kliuiev Eduard Sergeevich, Doctoral Student, Engineer in Department of Mineral Mining at Great Depths, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, eduard_2105@mail.ru

Анотація. У статті представлено результати дослідів з динаміки газовиділення і складу летких речовин при тепловій дії з метою розробки техногенних родовищ вугільного шламу і некондиційного вугілля.

Методика лабораторних досліджень полягала в нагріванні вуглевмісних матеріалів і їх бінарних сумішей без доступу повітря з визначенням об'єму і складу газової фази в залежності від часу і температури процесу. Наведено розрахунок сумарної кількості летких речовин, що виділяється до певного моменту часу, для ізотермічних і неізотермічних умов з урахуванням швидкості нагріву і кінетичних параметрів. Зазначено причини коливання вмісту компонентів газової фази. Отримані результати можуть застосовуватися для подальшого обґрунтування параметрів при розробці моделі теплових процесів переробки вуглевмісних матеріалів.

Ключові слова: термічна дія, вуглевмісний матеріал, газовиділення, склад летких, газова фаза.

Abstract. Experimental results of gas release and volatile composition dynamics under thermal impact are presented in this article with the purpose to develop of technogeneuous deposits of coal slimes and low-grade coals .

Laboratory method included heating of coal-contained materials and their binary mixtures without air access and defining of gas phase volume and composition depending on the process duration and temperature. Total amount of volatiles generated by a certain time point is calculated with taking into account isothermal and nonisothermal conditions, heating rate and kinetic parameters. Causes of varied content of gaseous components are analyzed.

The findings can be applied for specifying parameters when designing a thermal processes model for coal-contained materials processing.

Keywords: thermal impact, coal-contained materials, gas release, volatiles composition, gas phase.

*Статья поступила в редакцию 13.09.2013
Рекомендовано к публикации д.т.н. Е.В. Семененко*