

**ДАВЛЕНИЕ РАСПИРАНИЯ
ТРАМБОВАННЫХ БИНАРНЫХ
УГОЛЬНЫХ СМЕСЕЙ**© 2011 Кузниченко В.М., к.т.н.,
Сытник А.В., Шульга И.В., к.т.н.
(УХИН)

При коксовании трамбованных бинарных смесей углей, принадлежащих к различным маркам, изменение соотношения их в смесях приводит, как правило, к неаддитивному изменению давления расpirания, а при коксовании бинарных смесей, состоящих из различных углей, принадлежащих к одной марке – к аддитивному изменению.

During the coking of tamping binary blends of coals, belonging to different grades, changes of the ratio between them in blends usually leads to a non-additive change in distension pressure, while coking binary blends consisting of different coals, belonging to a single brand – to an additive change.

Ключевые слова: уголь, бинарная смесь, трамбование, коксование, лабораторная установка, давление расpirания, правило аддитивности.

Проведенные нами исследования бинарных угольных смесей, загружаемых насыпью, показали, что давление расpirания при их коксовании не подчиняется правилу аддитивности [1]. Процесс коксования в трамбованной угольной загрузке имеет существенные особенности по сравнению с насыпной загрузкой. В результате более плотной (на ~ 40 %) упаковки угольных зерен в трамбованном пироге эвакуация паро-газообразных продуктов из пластического слоя существенно затруднена, в результате чего газовое давление в нем в несколько раз выше, чем при коксовании насыпной загрузки [2]. Трамбование угольной загрузки и повышение газового давления, как известно [3, 4], положительно сказываются на ходе термохимических превращений, влияющих на пластическое состояние углей.

Другая особенность процесса коксования трамбованной угольной загрузки обусловлена технологией производства кокса из трамбованных шихт, а именно – введением трамбованного

угольного пирога в камеру коксования с определенным зазором. Зазор необходим не только для удобства загрузки в печь, но и для недопущения высокого давления распирающего коксующего пирога на стены камеры коксования – т.е. для обеспечения сохранности огнеупорной кладки.

Наличие зазора позволило провести визуальные наблюдения, которые, в частности, показали: трамбованный пирог в камере коксования не рассыпается при нагреве, а на его боковых гранях уже через 20 мин образуется четкая сеть формирующих трещин. Затем ширина трещин увеличивается, а отдельные первичные слои полукокса-кокса, ограниченные этими трещинами, становятся все более выпуклыми. Следовательно, соприкосновение трамбованного пирога со стенами камер коксования происходит уже вполне сформированной прочной структурой полукокса-кокса с характерной закругленностью головочной части кусков, образованной на его гранях. Давление пирога на стены камер и время начала его действия зависит от свойств шихты, определяющих свободное поперечное расширение пирога.

В связи с изложенным правомерен вопрос, будут ли закономерности изменения давления распирающего бинарных смесей, полученные ранее для насыпной загрузки, присущи бинарным смесям при трамбованной загрузке.

Следует отметить, что в литературе – как отечественной, так и зарубежной – отсутствуют данные о проведении таких исследований.

Соответствующие эксперименты проводились нами в той же унифицированной крупнолабораторной печи УХИНа [5], что и с насыпными бинарными смесями. Уровень измельчения углей в опытах составлял 90 % кл. < 3 мм, влажность – 11,0 %. Кварцевый стержень аппарата, передающий давление (распирающего) на датчик, подвели вплотную

к трамбованному угольному пирогу после свободного расширения последнего на 10 мм. Этим имитировали вышеупомянутый зазор между трамбованным пирогом и греющими стенками промышленной камеры коксования. Такая ширина зазора принята, исходя из условий эксплуатации коксовых батарей ОАО «Алчевсккокс», где на батареях № 9-бис и № 10-бис производится доменный кокс в объеме около 1,9 млн. т/год. На бат. № 9-бис ширина зазора посередине длины камеры коксования составляет 15 мм. При конусности камеры 20 мм зазор на машинной стороне составляет 10 мм, на коксовой – 20 мм [6]. Т.е. зазор в лабораторной печи соответствует зазору в наиболее узкой части камеры коксования бат. № 9-бис. На бат. № 10-бис проектный средний зазор составляет 20 мм (на машинной стороне 15 мм, на коксовой – 25 мм). Однако, учитывая опыт освоения технологии производства кокса из трамбованных шихт на бат. № 9-бис [7], заужение камер может происходить и в результате чрезмерного их заграфичивания, что также приводит к уменьшению ширины указанного зазора. Ширина камер коксования также может отклоняться от проектной в ту или иную сторону.

Таким образом, принятый нами в лабораторной печи зазор 10 мм и, соответственно, показатель P^{10} (давление распирающего при ширине зазора 10 мм) в большей мере соответствуют реальным условиям промышленного коксования трамбованных шихт, чем показатель P^{12} . Кроме того, показатель P^{10} позволяет характеризовать и отдельные угольные концентраты, т.к. их свободное расширение ϵ составляет не менее 10 мм. Это дает возможность отказаться от показателя действующего в настоящее время P^5 индивидуальных углей, для определения которого необходимо проводить два опыта [8].

Трамбование навесок бинарных смесей массой один килограмм осуществляли в специальном устройстве со сборно-разборной матрицей при такой же работе трамбования, как в промышленной трамбовочно-загрузочно-выталкивающей машине (ТЗВМ).

Для опытов были взяты угольные концентраты сырьевой базы производства

кокса из трамбованных шихт на ОАО «Алчевсккокс» (см. табл.). Хотя угли марки К не должны использоваться в этой технологии, однако иногда в силу особых обстоятельств приходится в небольших количествах вводить их в шихту для трамбования.

Характеристика углей для трамбованных бинарных смесей

ЦОФ, шахта, разрез	Марка угля	$V_{daf}, \%$	Пластометрические показатели, мм		Показатели пластичности по Гизелеру					Давление расприра- ния, P^{10} , кПа
			х	у	$T_{н.п.}$, °C	$T_{маx.п.}$, °C	$T_{отв.}$, °C	ΔT	дел/ мин	
ЦОФ «Колмогоровская» (РФ)	ДГ	42,5	42	8	400	420	450	50	8	0,4
ЦОФ «Октябрьская» (РФ)	Г	37,8	39	10	380	425	450	70	314	3,0
ЦОФ «Селидовская»	Г	39,4	45	10	385	420	450	65	120	1,5
ш. «Заречная» (РФ)	Г	44,6	43	9	405	425	460	55	3	0,9
ЦОФ «Комсомольская»	Г	38,1	38	14	380	435	455	75	495	3,4
ЦОФ «Распадская»(РФ)	ГЖ	37,0	40	19	390	440	470	80	1580	6,0
ш. им. Засядько	Ж	30,8	9	25	380	430	490	110	>2800	5,2
Alpha Kingwood (США)	Ж	34,2	2	32	350	420	480	130	>2800	4,5
ш. «Чайкино»	Ж	31,4	15	24	385	440	500	115	>2800	5,4
ш. им. Скочинского	Ж	31,7	32	18	390	440	480	90	709	6,1
ш. «Дежневская»	К	26,5	23	23	385	440	475	90	220	22,0
ш. «Красноармейская западная»	К	31,6	32	14	410	450	475	65	24	19,4
ш. «Щегловская Глубокая»	К	28,7	11	27	370	425	485	115	>2800	26,7
ЦОФ «Узловская»	ОС	18,2	26	10	440	475	505	65	25	19,2
Wolverine (Канада)	ОС	24,1	24	14	405	470	500	95	161	30,1
ЦОФ «Нерюнгринская» (РФ)	ОС	20,2	3	10	445	480	510	65	16	34,0
East Gulf (США)	ОС	20,7	15	12	450	490	510	60	22	21,8
ОФ «Березовская» (РФ)	КО	23,6	26	11	435	465	490	55	9	6,2
р-з «Бачатский» (РФ)	КО	25,7	31	10	430	450	490	60	15	7,5
р-з «Краснобродский» (РФ)	КС	24,4	25	7	Не переходит в пластическое состояние					1,6

Как и при исследовании насыпных бинарных смесей [1], каждую марку угля в трамбованную бинарную смесь вводили в количестве 10, 25, 50, 75 и 90 %. Зависимости давления расприра от соотношения компонентов в смесях с участием углей газовой группы представлены графически на рис. 1-5.

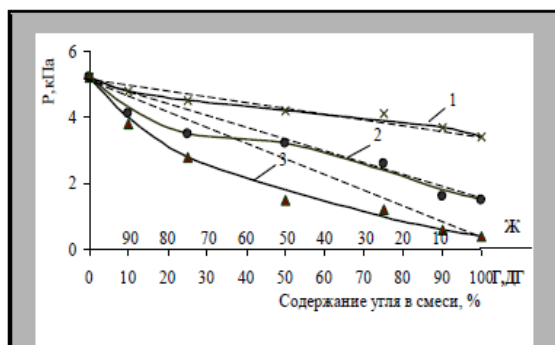


Рис. 1 Давление расприра трамбованных бинарных смесей угля марки Ж, ш. им. Засядько, с углями: 1 – Г, ЦОФ «Ксомольская»; 2 – Г, ЦОФ «Селидовская»; 3 – ДГ, ЦОФ «Колмогоровская»

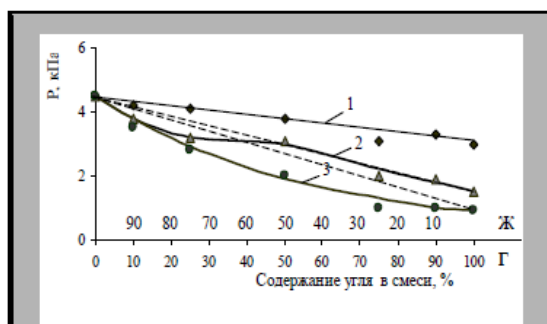


Рис. 2 Давление расприра трамбованных бинарных смесей угля марки Ж, Alpha Kingwood, с углями марки Г: 1 – ш. «Октябрьская»; 2 – ЦОФ «Селидовская»; 3 – ш. «Заречная»

Из рисунков видно, что характер изменения давления расприра в трамбованных бинарных смесях с участием этих углей в общем сходен с таковым для насыпных бинарных смесей – кривая проходит ниже линии аддитивности [1]. Однако максимальная величина отклонения от линии аддитивности меньше, чем при насыпной загрузке. Особенно характерно это для бинарных смесей Г – Ж, в которых изменения зачастую подчиняются правилу аддитивности (см. рис. 1-2). То же наблюдается и при коксовании бинарных трамбованных смесей марки Г со слабоспекающимися высокометаморфизованными марками КО, КС, характеризующимися низким давлением расприра (см. рис. 4-5). Указанные отличия связаны, по нашему мнению, с особенностями термохимических превращений при коксовании уплотненной угольной загрузки – температура отверждения и толщина пластического слоя газового угля заметно увеличиваются, тогда как у жирного угля они остаются неизменными [2, 3]. Это приближает свойства пластической массы газового угля к жирному, особенно по температуре отверждения. А как указывалось ранее [1], именно более низкая температура отверждения пластической массы газовых углей по сравнению с другими углями приводит к неаддитивно большему снижению давления расприра бинарных смесей, содержащих этот уголь. Кроме того, наличие зазора между трамбованным пирогом и греющей стенкой при малом горизонтальном расширении углей марок Г и отошающих марок также способствует аддитивному изменению давления расприра [6].

Взаимодействие при коксовании углей газовой группы с маркой К, а также с углями марки ОС, проявляющими высокое давление расприра, однозначно приводит к его снижению, более значимому, чем аддитивное (см. рис. 3-5).

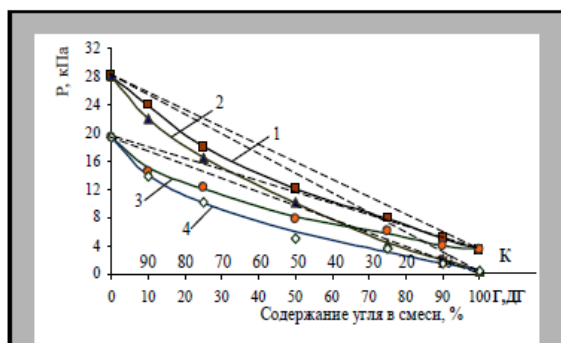


Рис. 3 Давление расприраия трамбованных бинарных смесей углей: 1 – Г, ЦОФ «Комсомольская» и К, ш. «Щегловская Глубокая»; 2 – ДГ, ЦОФ «Колмогоровская» и К, ш. «Щегловская Глубокая»; 3 – Г, ЦОФ «Комсомольская» и К, ш. «Красноармейская Западная»; 4 – ДГ, ЦОФ «Колмогоровская» и К, ш. «Красноармейская Западная»

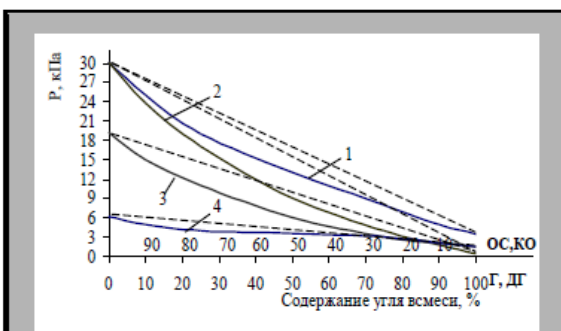


Рис. 4 Давление расприраия трамбованных бинарных смесей углей: 1 – Г, ЦОФ «Комсомольская» и ОС, «Wolverine»; 2 – ДГ, ЦОФ «Колмогоровская» и ОС, «Wolverine»; 3 – Г, ЦОФ «Селидовская» и ОС, ЦОФ «Узловская»; 4 – Г, ЦОФ «Селидовская» и КО, ОФ «Березовская»

Сочетание в бинарной смеси марок Ж и отошающих марок ОС, КО, КС всегда приводит к неаддитивному увеличению давления расприраия – кривая проходит выше линии аддитивности (рис. 6, 7). При этом чем

больше давление расприраия отошающей марки, тем больше максимальное отклонение от линии аддитивности. Такие же зависимости имеют место и в бинарных смесях марки Ж с маркой К (рис. 8). Следует отметить, что при коксовании бинарной смеси марки ГЖ с маркой К наблюдается хотя и мало выраженное, однако незначительное неаддитивное снижение давления расприраия – кривая проходит ниже линии аддитивности. Т.е. действие в смеси марки ГЖ сходно с действием марки Г.

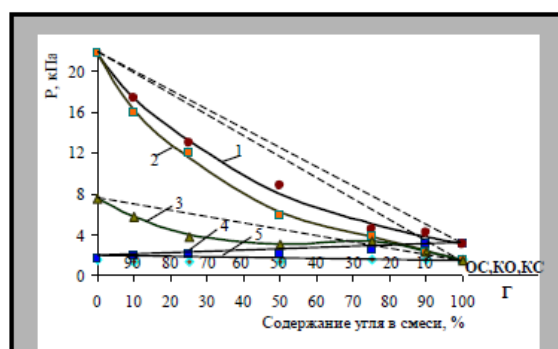


Рис. 5 Давление расприраия трамбованных бинарных смесей углей: 1 – Г, ЦОФ «Октябрьская» и ОС, «East Gulf»; 2 – Г, ЦОФ «Селидовская» и ОС, «East Gulf»; 3 – Г, ЦОФ «Селидовская» и КО, р-з «Бачатский»; 4 – Г, ЦОФ «Октябрьская» и КС, р-з «Краснобродский»; 5 – Г, ш. «Заречная» и КС, р-з «Краснобродский»

Если при коксовании насыпных бинарных смесей углей марки К с отошающими марками (ОС, КО, КС) примерно половина ветви кривой проходит над линией аддитивности, а вторая ее часть – ниже этой линии [1], то для трамбованных бинарных смесей этих углей наблюдаются несколько иные зависимости. При коксовании смесей марки К с маркой ОС, проявляющей высокое давление расприраия, кривая проходит всегда выше линии аддитивности. Ее максимальное отклонение тем больше, чем выше давление

распираания отошающей марки, а спад кривой начинается тем раньше, чем ниже давление распираания (рис. 9). При сочетании в бинарной смеси марки К со слабораспирающими отошающими марками КО, КС кривая пересекает линию аддитивности после уровня 70-75 % содержания этой марки в смеси и проходит под линией аддитивности.

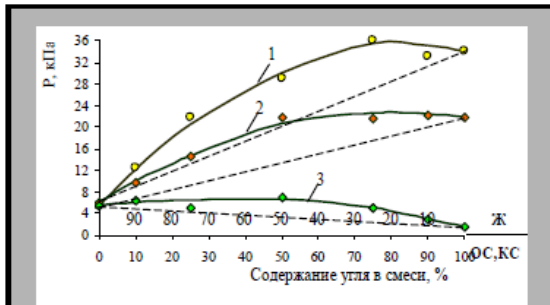


Рис. 6 Давление распираания трамбованных бинарных смесей углей: 1 – Ж, ш. «Чайкино» и ОС, ЦОФ «Нерюнгринская»; 2 – Ж, ш. им. Скочинского и ОС, «East Gulf»; 3 – Ж, ш. «Чайкино» и КС, р-з «Краснобродский»

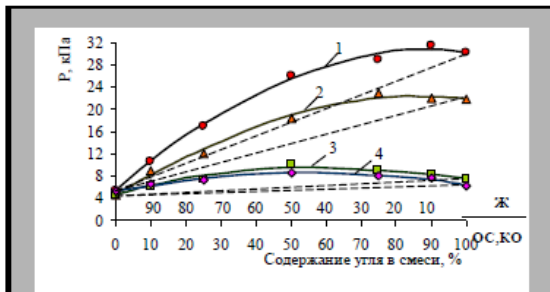


Рис. 7 Давление распираания трамбованных бинарных смесей углей: 1 – Ж, ш.им. «Засядько» и ОС, «Wolverine»; 2 – Ж, «Alpha Kingwood» и ОС, «East Gulf»; 3 – Ж, «Alpha Kingwood» и КО, р-з «Бачатский»; 4 – Ж, ш.им. Засядько и КО, ОФ «Березовская»

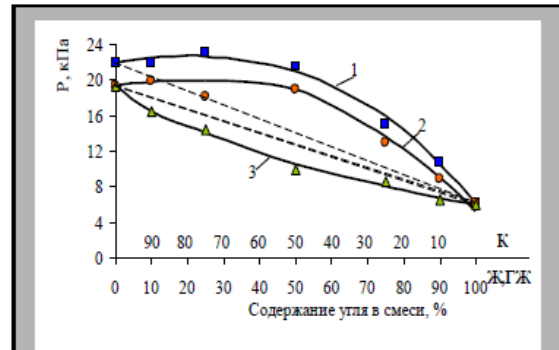


Рис. 8 Давление распираания трамбованных бинарных смесей углей: 1 – К, ш. «Дежневская» и Ж, ш. им. Скочинского; 2 – К, ш. «Красноармейская Западная» и Ж, ш. им. Засядько; 3 – К, ш. «Красноармейская Западная» и ГЖ, ЦОФ «Распадская»

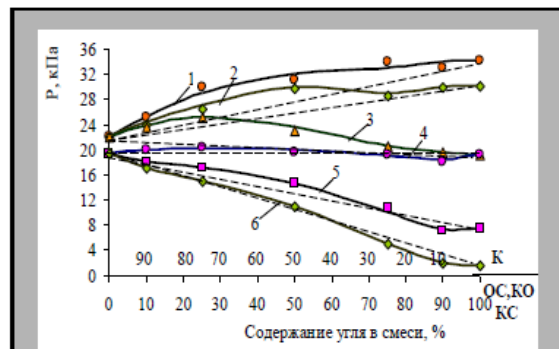


Рис. 9 Давление распираания трамбованных бинарных смесей углей: 1 – К, ш. «Дежневская» и ОС, ЦОФ «Нерюнгринская»; 2 – К, ш. «Дежневская» и ОС, «Wolverine»; 3 – К, ш. «Дежневская» и ОС, ЦОФ «Узловская»; 4 – К, ш. «Красноармейская Западная» и ОС, ЦОФ «Узловская»; 5 – К, ш. «Красноармейская Западная» и КО, р-з «Бачатский»; 6 – К, ш. «Красноармейская Западная» и КС, р-з «Краснобродский»

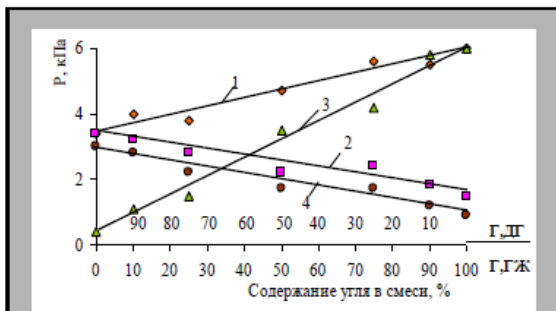


Рис. 10 Давление распираания трамбованных бинарных смесей углей: 1 – Г, ЦОФ «Комсомольская» и ГЖ, ЦОФ «Распадская»; 2 – Г, ЦОФ «Комсомольская» и Г, ЦОФ «Селидовская»; 3 – ДГ, ЦОФ «Колмогоровская» и ГЖ, ЦОФ «Распадская»; 4 – Г, ЦОФ «Октябрьская» и Г, ш. «Заречная»

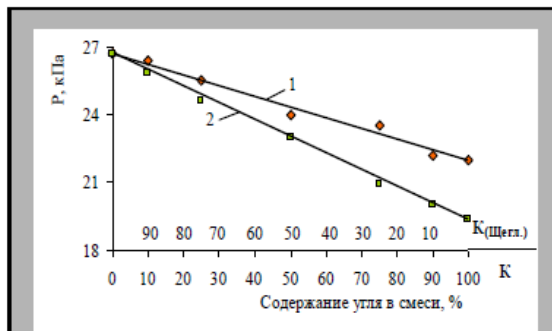


Рис. 12 Давление распираания трамбованных бинарных смесей углей: 1 – К, ш. «Щегловская Глубокая» и К, ш. «Дежневская»; 2 – К, ш. «Щегловская Глубокая» и К, ш. «Красноармейская Западная»

При коксовании трамбованных бинарных смесей, состоящих из разных углей, но принадлежащих к одной и той же марке, изменение давления распираания подчиняется правилу аддитивности (рис. 10-13).

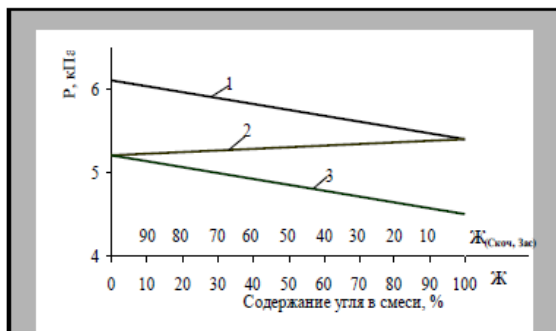


Рис. 11 Давление распираания трамбованных бинарных смесей углей: 1 – Ж, ш. им. Скочинского и Ж, ш. «Чайкино»; 2 – Ж, ш. им. Засядько и Ж, ш. «Чайкино»; 3 – Ж, ш. им. Засядько и Ж, «Alpha Kingwood»

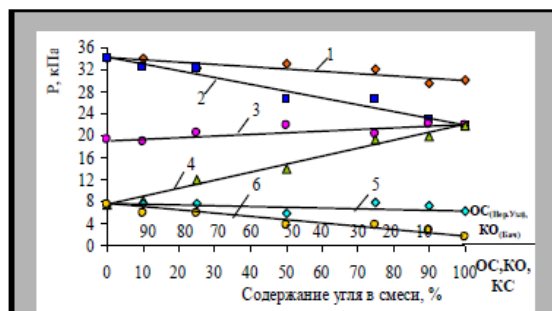


Рис. 13 Давление распираания трамбованных бинарных смесей углей: 1 – ОС, ЦОФ «Нерюнгринская» и ОС, «Wolverine»; 2 – ОС, ЦОФ «Нерюнгринская» и ОС, «East Gulf»; 3 – ОС, ЦОФ «Узловская» и ОС, «East Gulf»; 4 – КО, р-з «Бачатский» и ОС, «East Gulf»; 5 – КО, р-з «Бачатский» и КО, ОФ «Березовская»; 6 – КО, р-з «Бачатский» и КС, р-з «Краснобродский»

Выводы

1. При участии в трамбованной бинарной смеси углей газовой группы давление

распираания коксующей смеси всегда меньше, чем рассчитанное по правилу аддитивности или же подчиняется правилу аддитивности.

2. Сочетание в трамбованных бинарных смесях углей марки Ж с маркой К и отошающими марками ОС, КО, КС приводит к давлению распираания более высокому, чем рассчитанное по правилу аддитивности.

3. Давление распираания трамбованных бинарных смесей углей марки К с высокораспирающими отошающими марками выше, чем рассчитанное по правилу аддитивности во всем диапазоне соотношений – от 0 до 100 %, а с малораспирающими – выше до 70-75 % их содержания в смеси. При более высоком содержании малораспирающих углей давление распираания становится ниже, чем рассчитанное по правилу аддитивности.

4. Давление распираания смесей, в которых оба компонента принадлежат к одной и той же марке углей, или могут быть объединены в одну группу (газовые, отошающие), подчиняется правилу аддитивности.

5. Несколько меньшие отклонения давления распираания от аддитивного в случае трамбованных бинарных смесей по сравнению с насыпными, а также некоторые отличия характера изменения давления распираания в изученном диапазоне соотношений компонентов в этих смесях связаны с особенностями термохимических превращений в уплотненной угольной загрузке при коксовании.

Библиографический список

1. Сытник А.В. Давление распираания при коксовании бинарных смесей углей насыщенным методом / А.В. Сытник, В.М. Кузниченко, И.В. Шульга // Углехимический журнал. – 2011. – № 1-2. – С. 41-48.

2. Кузниченко В.М. Влияние внутрипластического газового давления на пластические свойства углей при уплотнении / В.М. Кузниченко, А.В. Карпов, Э.И. Торьяник [и др.] // Нетермические методы подготовки углей и шихт к коксованию. Тематич. сб. научн. трудов УХИН. – М.: «Металлургия». – 1984. – С. 18-21.

3. Васильев Ю.С. Технология производства кокса из трамбованных шихт / Ю.С. Васильев, В.М. Кузниченко, Н.В. Браун [и др.] // Кокс и химия. – 1990. – № 6. – С. 24-26.

4. Кузниченко В.М. Особенности термохимических превращений при коксовании трамбованной угольной загрузки / Вячеслав Михайлович Кузниченко // Углехимический журнал. – 2010. – № 3-4. – С. 66-72.

5. Кузниченко В.М. Лабораторный способ определения давления распираания коксующей угольной загрузки различной насыпной плотности / В.М. Кузниченко, И.В. Шульга, А.В. Сытник // Углехимический журнал. – 2007. – № 3-4. – С. 29-33.

6. Кузниченко В.М. Особенности процесса коксования трамбованных угольных шихт / В.М. Кузниченко, А.А. Лобов, В.В. Кривонос // Кокс и химия. – 1998. – № 6. – С. 9-16.

7. Кривонос В.В. Освоение технологии трамбования на Алчевском КХЗ с использованием углей Украины и России / В.В. Кривонос, Ю.С. Васильев, И.Д. Дроздик [и др.] // Углехимический журнал. – 1998. – № 3-4. – С. 10-14.

8. Чуб В.Е. Опыт производства кокса из трамбованных угольных шихт / В.Е. Чуб, В.В. Кривонос, С.Н. Дзекунов [и др.] // Углехимический журнал. – 2001. – № 1-2. – С. 23-27.

Рукопись поступила в редакцию 12.03.2011