

**ДАВЛЕНИЕ РАСПИРАНИЯ ПРИ  
КОКСОВАНИИ БИНАРНЫХ СМЕСЕЙ  
УГЛЕЙ НАСЫПНЫМ МЕТОДОМ**

© 2011 СЫТНИК А.В.,  
Кузниченко В.М., к.т.н.,  
Шульга И.В., к.т.н. (УХИН)

*При коксовании бинарных смесей углей в лабораторной установке для определения давления расpirания показана неаддитивность изменения этого показателя при изменении соотношения содержания в смесях углей, принадлежащих к различным маркам, и аддитивность – для углей, принадлежащих к одной марке.*

*By coking of binary coal blends in a laboratory setting for determine of the swelling pressure had been shown nonadditivity in this indicator while varying the ratio of the content in blends of coals, belonging to different marks, and additivity – for coal, belonging to one mark.*

Ключевые слова: уголь, концентрат, бинарная смесь, лабораторная установка, коксование, давление расpirания, аддитивность.

.....  
**Г**лавными критериями при составлении угольных шихт для коксования служат качество кокса и безопасное давление расpirания коксуемой шихты на кладку обогревательных

простенков печей. В стремлении к достижению наиболее высокой механической прочности кокса из имеющегося в наличии набора углей производственники сталкиваются со следующими вопросами:

1. Какое количество хорошоспекающегося, но высокораспирающего угля можно максимально ввести в шихту, чтобы при этом не превысить нормативное давление распираания?

2. Является ли давление распираания шихты средневзвешенным давлением распираания отдельных ее компонентов?

В связи с этим актуальным является изучение влияния взаимодействия углей в смесях на давление распираания смесей. Понятно, что наиболее четко это взаимодействие будет прослеживаться в бинарных смесях.

Следует отметить, что в 40<sup>х</sup> годах прошлого столетия этому вопросу было уделено некоторое внимание Н.Р.Кушни-ревичем, который по поводу своих исследований отмечал: «исследование давления распираания угольных смесей имело целью получение только предварительных данных, так как решение этого вопроса в полном объеме потребует специальной большой работы» [1]. Он ограничился всего тремя вариантами бинарных смесей, составленных только из трех донецких углей: Г-К, Г-ПС и К-ПС. В исследованиях отсутствовала марка Ж, содержащаяся в шихтах для коксования, как правило, в наибольшем количестве.

Позднее подобные исследования были проведены Р.Луазоном и др. [2] для одного из коксохимических заводов Франции. Была прококсована бинарная смесь французских углей Пижо и Мишон, которые характеризуются исследователями как «плав-кне» и «<sup>3</sup>/<sub>4</sub> жирные или полужирные малоплавкие». Были прококсованы также бинарные смеси французских углей, одним из которых являлся высокораспирающий (44 кПа) уголь Дрокур (типа марки К), со слабоспекающимися нераспирающими углями, а также с распирающим

(19,5 кПа) углем Блюменталь из ФРГ (типа марки ОС).

До настоящего времени широких, полномасштабных исследований изменения давления распираания в бинарных смесях не проводилось. Кроме того, не проводилось изучение давления распираания в бинарных смесях углей из различных шахт, но принадлежащих к одной марке.

Нами были проведены коксования различных бинарных смесей с использованием широкого круга углей, добываемых не только в Украине, но и в России, США, Канаде. Исследования проводили на унифицированной лабораторной установке для определения давления распираания с загрузкой шихты (угля) до 1 кг [3]. Насыпная плотность загрузки в опытах составляла 0,8 кг/дм<sup>3</sup>, влажность – 10 %, уровень измельчения углей – 80 % содержания класса < 3 мм. Температура стенок обогреваемой реторты печи составляла 950 °С. Характеристика углей представлена в таблице.

Были исследованы следующие варианты бинарных смесей:

Г – Ж, Г – К, Г – ОС (КС);

Ж – К, Ж – ОС (КС);

К – ОС (КС).

Т.е. были охвачены все возможные варианты взаимодействия между марками всего петрографического ряда углей. Каждую марку угля вводили в бинарную смесь в количестве 10, 25, 50, 75 и 90 %. Результаты измерения давления распираания в бинарных смесях с участием углей марки Г представлены на рис. 1-4. Из рисунков видно, что во всех вариантах при изменении содержания угля марки Г в бинарной смеси давление распираания изменяется неаддитивно. Кривая проходит ниже прямой линии, соединяющей точки давления распираания индивидуальных углей, т.е. линии аддитивности. Следовательно, в бинарной смеси углей марка Г (ДГ) всегда снижает давление распираания смеси, причем не пропорционально ее процентному содержанию, а в

большей мере. Более заметное отклонение от линии аддитивности происходит в смесях, где уголь газовой группы имеет меньшее давление расприрания, или где вторым компонентом

является уголь более высокой степени метаморфизма, либо характеризующийся более высоким давлением расприрания.

Характеристика углей для бинарных смесей

ЦОФ, шахта, разрез	Марка угля	$V_{daf}$ , %	Пласто-метрические показатели, мм		Показатели пластичности по Гизелеру					Давление расприрания, Р, кПа
			x	y	$T_{н.п.}$ , °С	$T_{макс.п.}$ , °С	$T_{отв.}$ , °С	$\Delta T$ , °С	дел. / мин	
ЦОФ «Колмогоровская» (РФ)	ДГ	42,5	42	8	400	420	450	50	8	1,9
ЦОФ «Селидовская»	Г	39,4	45	10	385	420	450	65	120	2,4
ш. «Заречная» (РФ)	Г	44,6	43	9	405	425	460	55	3	2,7
ЦОФ «Комсомольская»	Г	38,1	38	14	380	435	455	75	495	3,8
Ш. им. Засядько	Ж	30,8	9	25	380	430	490	110	>280 0	5,5
Alpha Kingwood (США)	Ж	34,2	2	32	350	420	480	130	>280 0	3,7
Ш. им. Скочинского	Ж	31,7	32	18	390	440	480	90	709	4,8
Ш. «Дежневская»	К	26,5	23	23	385	440	475	90	220	13,2
Ш. «Красноармейская западная»	К	31,6	32	14	410	450	475	65	24	14,4
Ш. «Щегловская Глубокая»	К	28,7	11	27	370	425	485	115	>280 0	9,3
ЦОФ «Пролетарская»	К	24,0	22	18	400	465	490	90	410	15,5
ЦОФ «Узловская»	ОС	18,2	26	10	440	475	505	65	25	7,2
«Wolverine» (Канада)	ОС	24,1	24	14	405	470	500	95	161	17,5
ЦОФ «Нерюнгринская» (РФ)	ОС	20,2	3	10	445	480	510	65	16	21,0
East Gulf (США)	ОС	20,7	15	12	450	490	510	60	22	13,3
Р-з. «Бачатский» (РФ)	КО	25,7	31	10	430	450	490	60	15	4,9
Р-з «Краснобродский» (РФ)	КС	24,4	25	7	Не переходит в пластическое состояние					2,5

Неаддитивное снижение давления расприрания в бинарных смесях с участием газовых углей объясняется, по нашему мнению, следующим. При сравнении показателей пластичности углей, полученных в аппарате Гизелера, видно, что если температура начала

пластичности ( $T_{н.п.}$ ) и температура максимальной пластичности ( $T_{макс.п.}$ ) углей марок Г, Ж и К достаточно близки, то температура отверждения пластической массы ( $T_{отв.}$ ) для газовых углей существенно меньше, чем для остальных марок. Что касается высокомета-

морфизованных присадочных углей марок ОС, КС, КО, то все указанные температуры пластичности этих углей существенно выше, чем для углей марок Г, Ж и К. Более раннее образование твердой фазы из пластической массы газовых углей, равномерно распределенной в пластическом слое бинарной смеси, способствует облегченной эвакуации парогазовых продуктов из пластического слоя и, как следствие, снижению давления распираания. Очевидно, действие отвержденной части пластической массы на давление распираания аналогично действию добавки к углю (шихте) тонко измельченной коксовой мелочи.

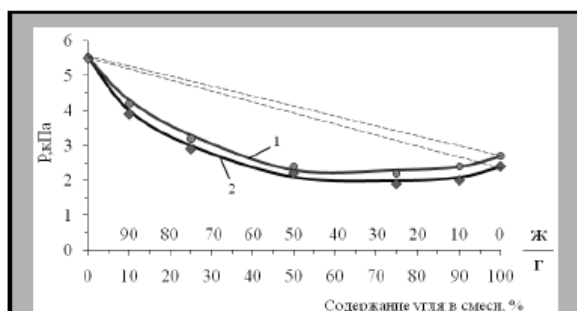


Рис. 1 Давление распираания бинарных смесей углей: 1 - Г, ЦОФ «Заречная» – Ж, ш. им. Засядько; 2 - Г, ЦОФ «Селидовская» – Ж, ш. им. Засядько

Однако снижение давления распираания объясняется не только повышенным количеством твердой дисперсной фазы в пластическом слое. Этому эффекту способствует также более интенсивное выделение парогазообразных продуктов из пластической массы углей марок Г и ДГ, у которых выход летучих продуктов наиболее высокий. Повышенное газообразование препятствует смыканию непрерывно образующихся пленок, накапливанию в отдельных ячейках газов и повышению в них газового давления, а, следовательно, давления распираания. Повидимому, немаловажное зна-

чение при этом имеет также более низкомолекулярный состав паровой фазы, выделяющейся из углей марок ДГ и Г по сравнению с более метаморфизованными углями [4].

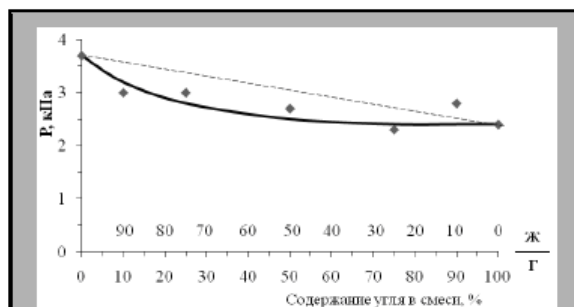


Рис. 2 Давление распираания бинарных смесей углей: Г, ЦОФ Селидовская – Ж, Alpha Kingwood

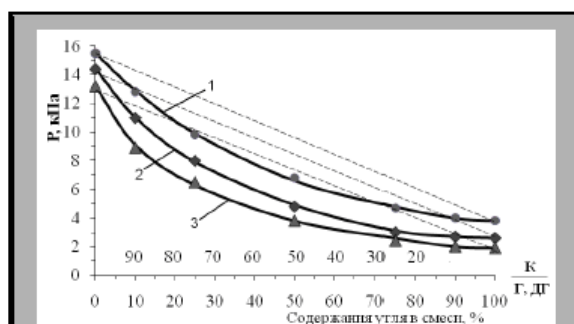


Рис. 3 Давление распираания бинарных смесей углей: 1 - Г, «Комсомольская» – К, ЦОФ «Пролетарская»; 2 - Г, ЦОФ «Селидовская» – К, ш. «Красноармейская Западная»; 3 - ДГ, ЦОФ «Колмогоровская» – К, ш. «Дежневская»

Следует отметить, что в бинарной смеси газового угля с жирным, характеризующимся значительной толщиной пластического слоя и высокой текучестью пластической массы (Alpha Kingwood) изменение давления распираания близко к аддитивному (см. рис.2).

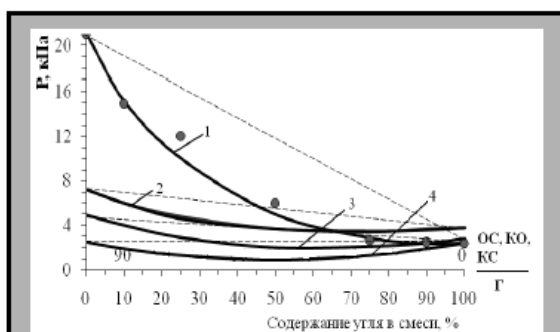


Рис. 4 Давление расприраия бинарных смесей углей: 1- Г, ЦОФ «Селидовская» – ОС, ЦОФ «Нерюнгринская»; 2 - Г, ЦОФ «Комсомольская» – ОС, ЦОФ «Узловская»; 3 - Г, ЦОФ «Заречная» – КО, р-з «Бачатский»; 4 - Г, ЦОФ «Селидовская» – КС, р-з «Краснобродский»

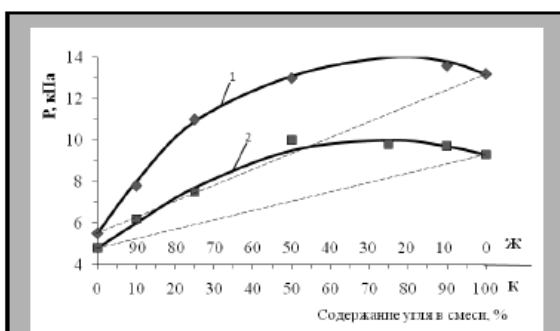


Рис. 5 Давление расприраия бинарных смесей углей: 1 - Ж, ш. им. Засядько – К, ш. «Дежневская»; 2 - Ж, ш. им. Скочинского – К, ш. «Щегловская Глубокая»

В бинарных смесях жирного угля с более высокометаморфизованными углями Ж-К и Ж-ОС (КС, КО) изменение давления расприраия происходит также неаддитивно, однако в противоположность бинарным смесям с газовыми углями кривая проходит выше линии аддитивности (рис. 5-7). В данном случае значения  $T_{отв}$  для углей марок Ж и К равны, а для отошающих марок ОС, КС, КО выше всего на

10-20 °С (тогда как по сравнению с маркой Г – на 60-70 °С). Текучесть пластической массы жирных углей наиболее высока, а температурный интервал пластичности наиболее широк (см. табл.) Добавки такого угля к углям марок К, ОС, КС, КО приводят к образованию однородной и еще достаточно вязкой пластической массы, что обуславливает повышение давления расприраия, причем большее, чем по аддитивности.

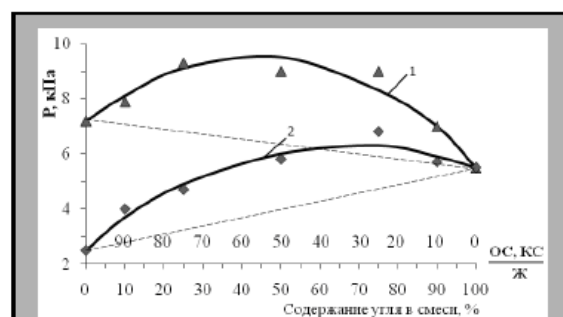


Рис. 6 Давление расприраия бинарных смесей углей: 1 - Ж, ш. им. Засядько – ОС, ЦОФ «Узловская»; 2 - Ж, ш. им. Засядько – КС, р-з «Краснобродский»

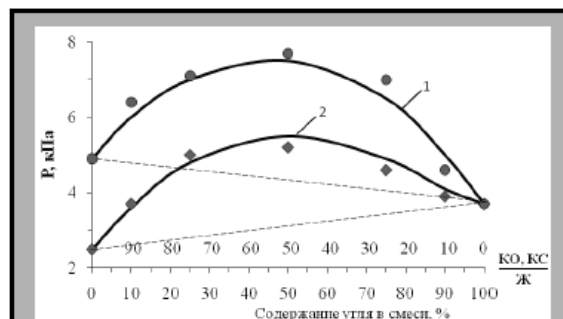


Рис. 7 Давление расприраия бинарных смесей углей: 1 - Ж, «Alpha Kingwood» – КО, р-з «Бачатский»; 2 - Ж, «Alpha Kingwood» – КС, р-з Краснобродский

Бинарные смеси марки К с марками ОС, КС, КО представляют собой третий тип зави-

симостей давления распираания от их содержания в бинарной смеси (рис. 8). Данные зависимости отличаются тем, что одна часть ветви кривой находится над линией аддитивности, а вторая под этой линией. Пересечение кривой с линией аддитивности происходит после достижения содержания в смеси отошающей марки более 60-72 %. Этот разбег объясняется различными свойствами пластической массы как углей марки К, так и парной с ней отошающей марки. До указанного содержания отошающего компонента пластическая масса угля марки К еще сохраняет однородность, а вязкость ее повышается, поэтому давление распираания бинарных смесей в диапазоне от 0 до 60-72 % отошающего компонента выше, чем по правилу аддитивности. При дальнейшем увеличении в смеси отошающего компонента пластическая масса становится более вязкой, но менее однородной. Образующиеся парогазовые продукты из такой пластической массы эвакуируются более свободно, что приводит к снижению давления распираания, которое становится меньшим, чем по правилу аддитивности. Кривая проходит под линией аддитивности, причем близко от нее. Более быстрое снижение давления распираания, чем должно быть по правилу аддитивности, в этой ветви кривой можно объяснить тем, что при данном содержании коксового угля в смеси его пластической массы уже недостаточно для обеспечения однородности пластической массы всей бинарной смеси. Кроме того, температура отверждения коксовых углей ниже, чем отошающих. Поэтому значительная часть пластического слоя такой бинарной смеси на «горячей» его стороне представляет собой уже конгломерат отвержденной пластической массы коксового угля в неоднородной вязкой пластической массе отошенного угля. В данном случае механизм снижения давления распираания аналогичен тому, который имеет место в бинарных смесях с участием газовых углей. Образование твердой фазы при температуре более низкой, чем

$T_{отв}$  пластической массы бинарной смеси, приводит к непропорционально большому снижению давления распираания и ветвь кривой проходит ниже линии аддитивности. Однако, поскольку различия температур отверждения коксовых и отошенных углей не так велики (10-20 °С), как в случае с газовыми углями, то и отклонение нижней ветви кривой от линии аддитивности небольшое, а в некоторых случаях она почти не отклоняется от этой линии (см.рис. 8).

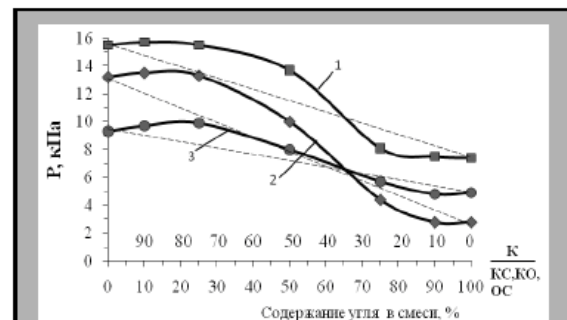


Рис. 8 Давление распираания бинарных смесей угля: 1 - К, ЦОФ «Пролетарская» – ОС, ЦОФ Узловская; 2 - К, ш. «Дежневская» – КС, р-з «Краснобродский»; 3 - К, ш. «Щегловская Глубокая» – КО, р-з «Бачатский»

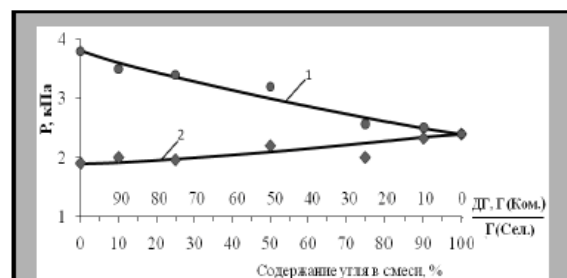


Рис. 9 Давление распираания бинарных смесей угля: 1 - Г, ЦОФ «Селидовская» – Г, ЦОФ «Комсомольская»; 2 - Г, ЦОФ «Селидовская» – ДГ, ЦОФ «Колмогоровская»

При коксовании бинарных смесей, составленных из углей одной марки, но разных шахт (ЦОФ), изменения давления распираания подчиняется правилу аддитивности, т.е. происходит пропорционально содержанию компонентов в смесях (рис. 9-12). Это подтверждает предположение, что отклонение от правила аддитивности изменения давления распираания в бинарных смесях связано с различием температур отверждения компонентов этих смесей.

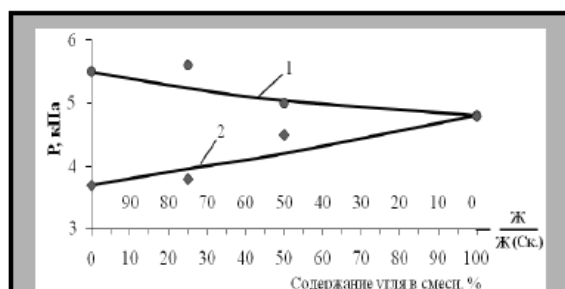


Рис. 10 Давление распираания бинарных смесей углей: 1 - Ж, ш. им. Скочинского – Ж, ш. им. Засядько; 2 - Ж, ш. им. Скочинского – Ж, «Alpha Kingwood»

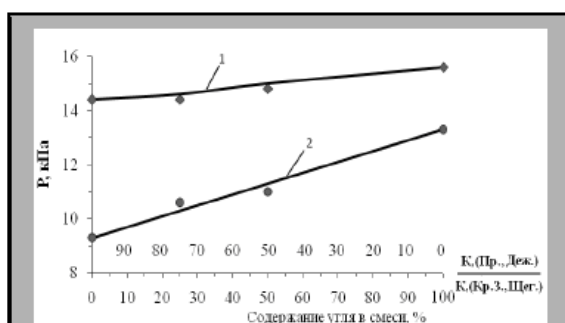


Рис. 11 Давление распираания бинарных смесей углей: 1 - К, ш. «Красноармейская Западная» – К, ЦОФ «Пролетарская»; 2 - К, ш. «Щегловская Глубокая» – К, ш. «Дежневская»

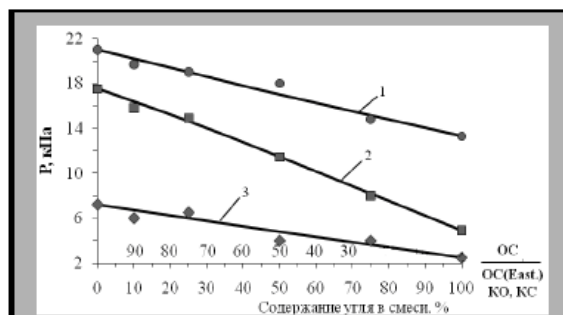


Рис. 12 Давление распираания бинарных смесей углей: 1 - ОС, ЦОФ «Нерюнгринская» – ОС, «East Gulf»; 2 - ОС, «Wolverine» – КО, р-3 «Бачатский»; 3 - ОС, ЦОФ «Узловская» – КС, р-3 «Краснобродский»

### Выводы

Широкомасштабными исследованиями бинарных угольных смесей с привлечением как отечественных, так и зарубежных углей показано, что давление распираания в этих смесях при изменении в них соотношения содержания компонентов, принадлежащих к различным маркам углей, не подчиняется правилу аддитивности. В смесях, в которых оба компонента принадлежат к одной марке углей, изменение давления распираания происходит по правилу аддитивности.

Установлено три типа зависимостей давления распираания в бинарных смесях от изменения в них соотношения компонентов:

- при участии в бинарной смеси углей марок Г или ДГ с углем другой марки давление распираания всегда меньше, чем рассчитанное по правилу аддитивности;

- при участии в бинарной смеси угля марки Ж с углем марки К или марками ОС, КС, КО давление распираания смеси всегда выше, чем рассчитанное по правилу аддитивности;

- в бинарных смесях углей К и ОС (КО, КС) при добавлении к марке К отошающих марок до 60-70 % давление распираания смеси выше, чем по правилу аддитивности, а при дальнейшем увеличении содержания отоша-

ющих марок давление расприраия смеси ниже, чем по правилу аддитивности.

Полученные зависимости могут быть использованы для разработки методики расчета давления расприраия угольных шихт.

#### Библиографический список

1. Кушниревич Н.Р. Изменение величины давления расприраия при коксовании в генетическом ряду донецких углей / Кушниревич Николай Романович // Труды УХИНа, вып. 1. – Харьков: Metallurgizdat. – 1948. – С. 43-58.

2. Дуазон Р. Кокс. / Дуазон Р., Фош П., Буайе А. – М.: Metallургия, 1978. – 520 с.

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

4. Скляр М.Г. Физико-химические основы спекания углей / Скляр Михаил Григорьевич. – М.: Metallургия, 1984. – 200 с.

Рукопись поступила в редакцию 04.02.2011