

## Степень размягчения спекающихся каменных углей и их термическая устойчивость, как признаки коксуемости.

### I. Коксуемость, спекаемость и плавление угля.

Под коксуемостью понимается способность угля или угольной смеси давать в условиях сухой перегонки без доступа воздуха при относительно высоких температурах, порядка 800 (в старых шамотовых печах)—1100° (в современных быстроходных печах из динаса), крупнокусковый кокс, выдерживающий установленное испытание на механическую прочность.

Совершенно очевидно, что для получения из мелко-раздробленного угля крупных кусков кокса уголь должен в процессе коксования пройти либо стадию плавления отдельных зерен, сливающихся вследствие этого в однородную сплошную массу, либо стадию выделения из зерен жидких, смолистых веществ, пропитывающих всю угольную массу и цементирующих ее при последующем затвердевании в результате отгонки паров и газов. В соответствии с этим в науке существуют две точки зрения, две теории коксования: теория плавления угля, творцом которой является один из крупнейших авторитетов в области исследования углей советский ученый Г. Л. Стадников, и теория цементирования, виднейшим представителем которой является крупный специалист в области коксования английский ученый Р. А. Мотт. В дальнейшем изложении будут приведены факты, на основе которых можно будет судить о том, какая из этих теорий в наибольшей степени отвечает действительному положению вещей. Но так или иначе несомненным можно считать одно: первый и основной признак коксуемости углей—их способность образовывать при нагреве более или менее однородную сплавленную массу, распадающуюся при усадке угольно-коксового массива на отдельные крупные куски.

Вполне естественно, конечно, что при лабораторном исследовании вопроса о признаках коксуемости основное внимание сосредоточивалось на этом свойстве угля, на разработке методов его количественной характеристики. Разные исследователи к решению вопроса подходили по-разному, однако можно отметить два основных направления, которые, пожалуй, в значительной степени отражают отмеченные выше две теоретические предпосылки. Первое из этих направлений обозначает указанное свойство углей термином „спекаемость“. Под этим термином, в зависимости от предложенного способа определения, понимается либо сплавленность и однородность тигельного королька кокса, а также его вспученность, определяемые качественно на глаз, либо способность угля давать при тигельном испытании спекшийся остаток при примешивании к нему переменных количеств каких-либо инертных добавок (песок, кокс, антрацит и т. п.), либо, наконец, испытание королька, полученного при тигельной пробе из смеси угля с постоянным количеством инертной прибавки, на раздавливание с переменной нагрузкой. Как сама терминология, так равно и характер методики испытаний говорят о том, что предпосылкой к данному направлению является теория, предполагающая наличие или последующее образование в угле

связующего (цементирующего) материала. Спекающая способность угля тем выше, чем больше способно одно и то же его количество связать инертной прибавки; спекающая способность тем выше, чем прочнее связано с углем определенное количество инертной прибавки. Отсюда следовал вывод, что спекаемость это и есть коксуемость. Практика, однако, показала, что отождествлять спекаемость с коксуемостью нельзя. Не говоря уже о том, что так называемые „жирные“ угли, показывающие очень высокую спекаемость, как правило не пригодны для коксования без прибавки к ним других „тощих“ углей, и угли, обладающие одной и той же спекаемостью, как можно судить по результатам опытов известного немецкого исследователя П. Дамма (1), могут очень резко различаться по своим коксующим свойствам.

Второе направление определяет то же свойство углей, как результат их размягчения, перехода в пластическое состояние. Из методов, предложенных для количественной характеристики пластического состояния углей в практике лабораторного исследования, более или менее широкое распространение получили два: пенстрометрический метод немецких исследователей Г. Агде и Л. Линкера и метод английского исследователя Фоксвелла. По методу Агде и Линкера (2), на угольной загрузке, помещенной в стальную трубку и слегка утрамбованной, устанавливается тонкий стальной стержень, нагруженный сверху гирей определенного веса. По мере размягчения угля при его нагреве (со скоростью 2—3° в минуту) стержень начинает опускаться вглубь угольной загрузки. Глубина погружения в увеличенном в 10 раз масштабе отмечается стрелкой на круглом диске. Кривые могут быть построены по точкам: температура и глубина погружения. По методу Фоксвелла (3) исследование пластического состояния углей основано на измерении величины сопротивления размягчающегося при нагревании угля пропускаемому через угольную загрузку току инертного газа (обычно азота). Кривая строится по точкам: температура и величина сопротивления в миллиметрах водяного (или, при больших сопротивлениях, ртутного) столба.

При проведении опыта по Агде и Линкеру, в случае небольшой нагрузки на иглу, угли, обладающие способностью вспучиваться, дают такие подъемы и опускания иглы на протяжении всего опыта, в которых трудно определить наиболее важную точку максимума плавления. В случае большой нагрузки игла дает проскок в начале размягчения угля, и опять-таки нельзя определить точку максимума плавления. Видоизменение этого метода с применением игл разного сечения для углей разной плавкости не является удачным разрешением вопроса, поскольку в этом случае трудно сравнить полученные данные для разных углей.

Что же касается метода Фоксвелла, то здесь прежде всего следует отметить следующее. При испытании углей высокой степени плавкости при определенной температуре наступает момент полного прекращения движения газа через уголь; сопротивление при этом так велико, что каучуковые трубки не выдерживают необходимого давления для его преодоления. Если резко уменьшить расход постоянного количества протекающего через уголь инертного газа, тогда столь высокого сопротивления при точке максимума плавления не наблюдается, но очень трудно определить в этом случае точку начала плавления, так как изменение сопротивления будет малозаметным. Абсолютные значения сопротивлений в миллиметрах водяного или ртутного столба при двух параллельных опытах близко не совпадают, но метод дает возможность регистрировать довольно точно температурные точки начала и максимума плавления, по резкому изменению сопротивления, и они близко совпадают при параллельных опытах.

По тому и другому методу на одно определение требуется затратить около 3 часов. Не говоря уже о том, что значительная сложность прове-

дения опытов и их длительность делают эти методы малопригодными для использования в заводской лаборатории, сами полученные данные не дают необходимой ориентировки в определении коксующих свойств углей. В силу этого, оба метода не получили никакого распространения на наших коксохимических заводах, несмотря на их довольно широкое распространение в практике исследовательских лабораторий.

Ко второму направлению примыкает и метод Л. М. Сапожникова (4). Идея метода заключается в том, чтобы воспроизвести на небольшой угольной лабораторной пробе (100 грамм) условия коксования углей в коксовой печи. Угольная загрузка, помещаемая в стальной цилиндр, подвергается нагреву с одной стороны, именно снизу, со скоростью  $3^\circ$  в минуту. Уголь в стальном цилиндрическом стакане во все время опыта находится под постоянным давлением груза из расчета 1 килограмм на квадратный сантиметр. Дырчатое дно стакана, прикрытое тонким слоем асбестового картона, и такой же дырчатый штампель сверху, передающий давление груза на уголь (покоющийся также на тонком слое асбеста), дают возможность газам и парам разложения выходить на горячую (вниз) и холодную (вверх) стороны угольной загрузки. При загрузке в стакан угля в нем устанавливается тонкая бумажная гильза на всю высоту загрузки. Эта гильза, еще до достижения углем температуры начала плавления, истлевает, и, таким образом, в угольной загрузке образуется в вертикальном направлении отверстие. Как в коксовой печи в момент достижения нужной температуры, в нижней части загрузки появляется слой размягченного угля (пластический слой), который по мере повышения температуры будет вместе с ней перемещаться в верхние слои загрузки, а внизу образуется полукокс, а при последующем отгазовывании и кокс. При этом отверстие в угольной загрузке в месте образования пластического слоя затягивается расплавленной пластической массой, и толщину последней можно измерить с помощью тонкого стального стержня (иглы). Свободно опущенный сверху в отверстие стержень встанет на верхней границе слоя и, пройдя его при легком нажиме, упрется внизу в полукокс. Определенная толщина этого пластического слоя в миллиметрах и является первым признаком коксуемости углей. Опыт установлено, что хорошие коксовые угли или смеси углей должны давать слой толщиной в 20—22 мм. Вторым признаком в определении коксуемости служит у Л. М. Сапожникова величина усадки угольной загрузки к концу опыта.

В основе предложенного профессором И. В. Геблер оригинального метода (5) лежит представление о способности спекающихся (по общепринятой терминологии) углей при быстром их нагревании размягчаться в такой степени, что образующаяся пластическая масса проникает в малые поры, образуемые зернами песка. Отличительная особенность этого метода—малая затрата времени на проведение испытания. В тонкостенную стальную трубку (толщина стенок 0,5 мм, сечение в свету 1 квадратный сантиметр и длиной 50 миллиметров) с дырчатым вставным дном (которое при проведении опыта прикрывается тонким слоем асбестового картона) насыпается мерка угля (около 1 грамма). С помощью небольшого ручного пресса уголь в трубке спрессовывается, и на его гладкую поверхность насыпается из предварительно взвешанной с содержимым лодочки или тигля песок в количестве 3 грамм (в опытах профессора И. В. Геблер и моих употреблялась фракция промытого и прокаленного кварцевого песка с размерами зерен, остающихся при просеивании на сите с 144 отверстиями на 1 кв см). „Заряженная“ таким образом трубка закрепляется в аппарате, представляющем собой круглый диск, сверху которого укреплена муфта, а внизу стальная трубка с раструбом в нижней части для закрепления трубки с углем и песком. Через муфту пропущен стальной

стержень, имеющий внизу свободно входящий в трубку „штемпель“, а сверху приспособление для установки груза в 1 килограмм. При внесении „заряженной“ трубки в электрическую печь, с постоянной температурой в 900°, уголь быстро воспринимает тепло, плавится и проникает в поры между зернами песка. При последующем затвердевании пластической массы, проникнувшей в песок, она связывает и удерживает определенное его количество. Через 5 минут опыт прекращается. Трубка снимается от прибора. Оставшийся несвязанным песок высыпается в лодочку, и производится вновь взвешивание. По разности весов лодочки с песком до опыта и после опыта можно установить, какое количество песка связано размягчившимся углем. Количество связанного углем песка, выраженное в грамах и умноженное на 100, профессор И. В. Геблер называет „числом мягкости“ (М). Числа (М), полученные методом профессора И. В. Геблер, не менее отчетливо, чем длительные испытания по методу Л. М. Сапожникова, устанавливают различия между углями разной степени плавкости. Сходимость чисел двух параллельных опытов при этом очень хорошая. Для иллюстрации в таблице 1 приведены данные технического анализа,

Таблица 1.

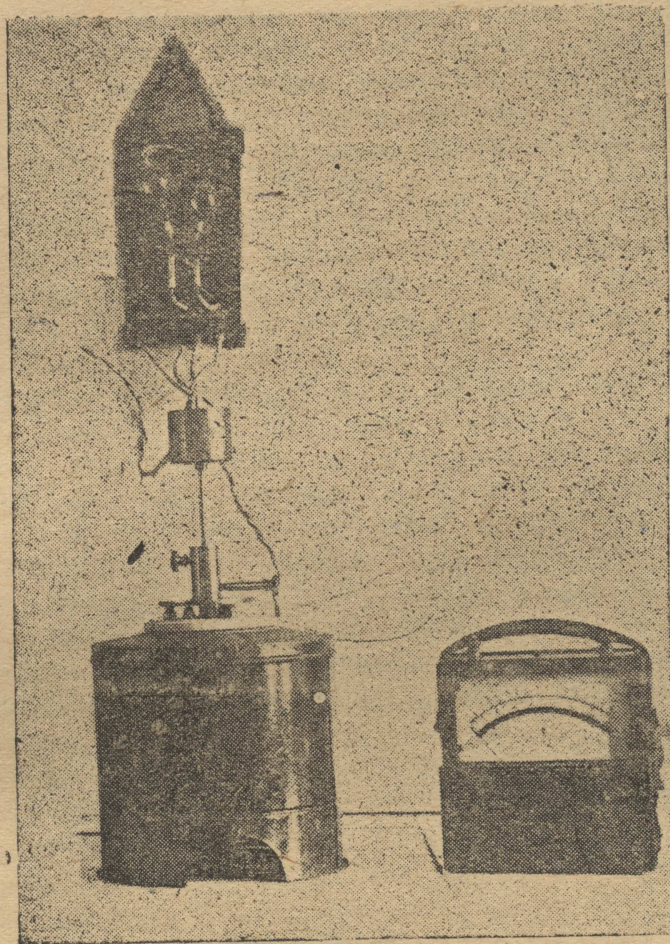
№№ по пор.	Рудничная марка угля	Рудник и шахта	Технический анализ			Пластометрические показатели		„Число мягкости“ по Геблеру		
			Wl	Ac	Vc	X усадка в мм	V пласт. слой в мм	I опре- деле- ние	II опре- деле- ние	Сред- нее из двух опре- дел.
1.	Паровично-жирный . . . . .	Осиновский рудник, шахта 9.	1,4	9,2	25,7	1	28	201	217	209
2.	Паровично-жирный . . . . .	Осиновский рудник, штабеля (лежалый)	2,0	12,5	25,7	16	22	108	118	113
3.	Коксовый . . . . .	Прокопьевский рудник, шахта 10.	0,78	9,2	20,2	20	23	105	109	107
4.	Коксовый . . . . .	Прокопьевский рудник, шахта Коксовая	1,04	9,5	19,7	13	20	103	98	100
5.	Коксовый . . . . .	Прокопьевский рудник, шахта Коксовая	0,80	7,2	20,7	13	23	110	106	108
6.	Коксовый . . . . .	Прокопьевский рудник, шахта.	1,30	7,7	18,8	28	14	1	48	49,5
7.	Паровично-спекающийся . . . . .	Прокопьевский рудник, шахта 9	0,60	7,4	14,0	28	11	19	22	20,5
8.	Паровично-спекающийся . . . . .	Прокопьевский рудник, шахта 5	0,90	9,1	20,2	33	10	32	34	33

пластометрических показателей и „чисел мягкости“ 8 углей Осиновского и Прокопьевского месторождений Кузбасса. Технический анализ и пластометрическое испытание этих углей выполнены лабораторией коксохимического цеха Кузнецкого металлургического завода имени И. В. Сталина, а числа мягкости определены мной.

Метод И. В. Геблер положен в основу данного исследования. Но, в условиях проведения опытов для исследования степени размягчения углей при различных температурах, в него оказалось необходимым ввести некоторые изменения. Так, например, при испытании некоторых „жирных“ углей при температурах ниже 900° (600, 700°), они так сильно вспучиваются, что песок поднимается выше краев трубки и высыпается из нее: кроме того, при этих температурах в опытах с углями богатыми дегтем, замечается другая ненормальность: часть песка оказывается связанной не в результате проникновения расплавленного угля в него, а в результате конденсации и последующего разложения дегтя в верхних его слоях.

Чтобы избежать выбрасывания песка из трубки и устранить возможное влияние на изменение чисел мягкости конденсирующихся в песке паров дегтя, условия опыта были изменены следующим образом: 1) уголь и песок поменялись местами, т. е. песок насыпался непосредственно на дно трубки, а уже на него устанавливался изготовленный заранее из отмеренного количества угля брикет; 2) вставное дно трубки было сделано сплошным и закреплялось снизу по возможности так плотно, чтобы газы и пары разложения через него не проникали, а направлялись исключительно вверх и уходили из трубки через зазоры между стенками и неплотно входящим в трубку „штемпелем“ стержня.

Фотографии 1, 2 и 3 дают представление о приборах, необходимых для выполнения опыта. На фотографии 1 изображены: а) электрическая тигель-



Фиг. 1.

ная печь; б) аппарат для испытания угля в собранном виде с трубкой, опущенной в печь; в) терморегулятор, позволяющий поддерживать в печи постоянную температуру; г) гальванометр для наблюдения за температурой, измеряемой с помощью вставленной в) печь термопары. На фотографии 2 изображен пресс для изготовления угольных брикетов. На фотографии 3 изображены детали аппарата: а) диск с укрепленной в нем полый трубкой, в растробе которой закрепляется „заряженная“ песком и углем реакционная трубка; б) стержень, на нижний конец которого навинчивается „штемпель“ (лежит рядом), который свободно входит в отверстие реакционной трубки и вверху которого имеется небольшой диск, служащий подставкой для груза; в) реакционная трубка, рядом с которой лежит

вставное дно и шпинец для закрепления последнего; г) гиря весом в 1 кг, с просверленным в середине отверстием для надевания ее на стержень.

Опыт проводится следующим образом. Из отмеренного количества угля изготавливается прессом угольный брикет. Отмеренное же количество песка (приблизительно 3 грамма) высыпается в фарфоровый тигель, и производится взвешивание. В реакционной трубке плотно закрепляется вставное дно, и затем песок из тигля высыпается в трубку. Угольный брикет опускается в трубку и устанавливается на песке. „Заряженная“ трубка закрепляется в нижней части полой трубки аппарата, и аппарат устанавливается на электрической печи, имеющей к этому моменту нужную температуру, при чем трубка с углем и песком опущена в печь. Немедленно после этого на стержень устанавливается гиря. По истечении установленного времени аппарат снимается с печи и устанавливается на треножнике. Трубка от аппарата отнимается легко, и поэтому нет необходимости ждать ее остывания. С помощью щипцов можно отнять ее от аппарата, отнять дно и высыпать песок, который не сцементирован расплавленным углем, в тот же тигель, из которого песок для данного опыта был взят. Разность весов тигля с песком до опыта и после опыта покажет, какое количество песка углем связалось. Например, вес тигля с песком до опыта—15,482 грамма, после опыта 13,865 г., разность составляет  $15,482 - 13,865 = 1,617$ ; „число размягчения“ 161,7 или округляя—162. В дальнейшем все числовые характеристики степени размягчения по количеству связанного углем песка, которые будут приводиться в тексте и таблицах, получены в этих измененных условиях проведения опыта.

„Числа размягчения“, получаемые по описанному выше методу, нужно полагать, связаны, в первую очередь, с количеством образующихся в результате разложения угля плавких растворимых веществ. Представление об этой связи дают опыты со смесями различного соотношения из совершенно неспекающегося угля Араличевского месторождения и экстракта нафталином из коксового угля Прокопьевского месторождения (табл. № 2). Экстракт этот представляет собой смесь веществ („битумов“), способных при нагреве образовывать жидкую массу, легко вытекающую в очень узкое отверстие сосуда. Для опытов Араличевский уголь и „битумы“ брались в состоянии измельчения зерен, проходящих через сито в 900 отверстий на 1 см<sup>2</sup>.

Таблица 2

№№ по пор.	Состав смеси % по весу		Числа размягчения при 800°	Продолжительность опыта (минут)
	„Битумы“	Араличевский уголь		
1	100	0	298	5
2	80	20	159	„
3	60	40	77	„
4	40	60	24	„
5	20	80	6	„

Два угля, содержащие одинаковые количества плавких веществ, тоже, конечно, могут иметь различные „числа размягчения“. В этом случае различие в „числах размягчения“ будет связано с вязкостью образуемого плавкими веществами расплава. Для иллюстрации можно привести результаты опытов со смесью постоянного состава из того же Араличевского угля и каменноугольного пека. В таблице № 3 приведены „числа размягчения“

для смеси в отношении 1:1 при различной температуре опытов. По мере повышения температуры текучесть пека повышается, и „числа размягчения“ растут.

Таблица 3

№№ п. п.	Температура в печи во время опыта	Продолжи- тельность опыта в минутах	Число раз- мягчения
1	100°	20	9
2	120°	20	23
3	140°	20	49
4	160°	20	87
5	180°	20	104

Толщина пластического слоя в опытах Л. М. Сапожникова обладает свойством аддитивности, что составляет большое преимущество этого способа перед другими, так как дает возможность по величине слоев компонентов легко находить процентный состав смеси с заданной толщиной пластического слоя. „Числа размягчения“ этим свойством не обладают, и это, естественно, создает огромные затруднения для использования метода в практических производственных целях.

Первой задачей настоящего исследования являлось поэтому отыскание способа выражения степени размягчения в таких величинах, которые позволили бы производить расчет смеси из нескольких компонентов с заданной величиной. Опыты со смесями из „битумов“ и Араличевского неспекающегося угля натолкнули на мысль выразить степень размягчения углей количеством „битумов“, путем сравнения „числа размягчения“, полученного для угля, с процентным содержанием „битумов“ в смеси. По данным таблицы № 3 была построена кривая, для точек которой ординатами служили „числа размягчения“, а абсциссами процентные количества в смеси „битумов“. По этой кривой для любого угля, по его „числу размягчения“, можно определить соответствующее этому числу размягчения количество определенного состава плавких веществ или некоторый „битумный эквивалент“. Само собой разумеется, что это найденное количество „битумов“ может далеко не соответствовать действительному количеству образующихся в угле при его разложении плавких веществ и носит чисто условный характер. В данном случае действительное (неизвестное) процентное содержание в угле плавких веществ „z“ по производимому им эффекту размягчения угля, выраженному числом размягчения „y“, эквивалентно найденному по кривой процентному содержанию в данной смеси плавких веществ „x“. Исследование кривой, определяющей зависимость чисел размягчения от процентного содержания в смеси битумов, показало, что она может быть выражена уравнением вида:

$$\lg y = \frac{a}{x} + b \cdot \lg x + c,$$

здесь  $Y$  — „число размягчения“, выраженное по предыдущему в граммах связанного углем песка при умножении на 100;  $X$  — процентное содержание в смеси „битумов“;  $a$ ,  $b$  и  $c$  — постоянные.

Выбрав из экспериментальных данных три точки кривой и, имея таким образом значения  $X$  и  $Y$ , решением системы трех уравнений с тремя неизвестными находим значения постоянных  $a$ ,  $b$  и  $c$ . Подставляя затем в уравнение эти найденные значения постоянных, находим величину  $Y$  для про-

межуточных точек. Для изображенной на фигуре 4 кривой постоянные определены по точкам:

$$\begin{aligned} x &= 100, y = 300 \text{ (298 из таблицы 2 округлено до 300);} \\ x &= 60, y = 75 \text{ (из таблицы 2 округлено до 75);} \\ x &= 20, y = 6. \end{aligned}$$

Полученные затем вычислением значения  $U$  для 80 и 40% содержания в смеси битумов относительно близки к найденным экспериментально.

В таблице 4 приведены значения  $U$  из опыта и найденные вычислением при постоянных  $a = 10$ ,  $b = 3$  и  $c = -3,625$ . Значения постоянных найдены из следующих условий. Значение „чисел размягчения“ в опыте со 100% битумов—округло 300; уравнение для этой точки

$$\lg 300 = \frac{a}{100} + b \lg 100 + c.$$

Значение „числа размягчения“ в опыте со смесью 60% битумов и 40% неспекающегося угля—округло 75; уравнение для этой точки

$$\lg 75 = \frac{a}{60} + b \lg 60 + c.$$

Значение „числа размягчения“ в опыте со смесью 20% битумов и 80% неспекающегося угля—6; уравнение для этой точки

$$\lg 6 = \frac{a}{20} + b \lg 20 + c.$$

$$(1). \lg 300 = \frac{a}{100} + b \lg 100 + c; \quad (1). 2,4771 = \frac{a}{100} + 2b + c;$$

$$(2). \lg 75 = \frac{a}{60} + b \lg 60 + c; \quad (2). 1,8751 = \frac{a}{60} + 1,7782b + c;$$

$$(3). \lg 6 = \frac{a}{20} + b \lg 20 + c; \quad (3). 0,7782 = \frac{a}{20} + 1,3110b + c;$$

$$(1). 247,710 = a + 200b + 100c; \quad (1). 247,710 = a + 200b + 100c;$$

$$(2). 112,506 = a + 106,682b + 60c; \quad (2). 112,506 = a + 106,682b + 60c;$$

$$(3). 15,564 = a + 26,020b + 20c; \quad (4). 135,204 = 93,318b + 40c.$$

$$(2). 112,506 = a + 106,682b + 60c$$

$$(3). 15,564 = a + 26,020b + 20c$$

$$(5). 96,932 = 80,662b + 40c.$$

$$(4). 135,204 = 93,318b + 40c$$

$$(5). 96,932 = 80,662b + 40c$$

$$(6) 38,272 = 12,656b$$

$$b = \frac{38,272}{12,656} \cong 3.$$

Из (5)

$$40c = 96,932 - 80,662 \times 3 = 96,942 - 241,986 = -145,044$$

$$c = \frac{145,044}{40} \cong -3,625.$$

Из (1)

$$a = 247,710 - 600 + 362,500 \cong 10.$$



Подставляя в уравнение найденное значение постоянных  $a$ ,  $b$  и  $c$ , находим значение  $U$  для  $x=90$ ,  $x=80$ ,  $x=70$ ,  $x=50$ ,  $x=40$  и  $x=30$ .

Например:

$$\lg y = \frac{a}{x} + b \lg x + c = \frac{10}{50} + 3 \lg 50 - 3,625 = 0,2 + 5,097 - 3,625 = 1,672.$$

Отсюда  $U=47$ .

Для смеси 80% битумов и 20% неспекающегося угля вычислено значение  $U=162$ , а непосредственно из опыта число размягчения—158; соответственно для смеси из 30% битумов и 70% неспекающегося угля подсчетом найдено  $U=27$ , опытом—24.

Таблица 4

№№ по пор.	% содержания битумов	Число размягчения	
		Из опыта	Вычисленное
1	100	298	300
2	90		222
3	80	154	162
4	70		113
5	60	77	75
6	50		47
7	40	24	27
8	30		14
9	20	6	6

В таблице № 5 приведены результаты опытов со смесями углей. В данном случае по „числам размягчения“ с помощью кривой отыскивались „эквиваленты“, по эквивалентам компонентов для смесей производился подсчет по правилу смешения „эквивалента“ смеси, а по „числу размягчения“ тот же „эквивалент“ находился с помощью кривой. Сопоставление одного с другим показывает, что эквиваленты обладают свойством аддитивности. Например, опыт дает для угля ПЖ—1 из таблицы № 5 число размягчения—181, которому соответствует по кривой фигуры 4 эквивалент 84; соответственно для угля ПС—1 число размягчения 19, а эквивалент 34. Смесь 1:1 должна дать эквивалент равный  $84 \cdot 0,5 + 34 \cdot 0,5 = 59$ ; в опыте с этой смесью получено число размягчения 67, которому по кривой соответствует эквивалент 57, т. е. величина, близкая к найденной расчетом.

Таблица 5

% содержания в смеси угля				Значение величины при 800°		„Эквиваленты“ по подсчету для данной смеси
ПЖ I	ПЖ II	ПС I	ПС II	Числа размягчения	Эквиваленты	
100				181	84	
	100			115	71	
		100		19	34	
			100	8	23	
75		25		106	68	72
25		75		44	49	48
50		50		67	57	59
	50		50	47	50	47
	50	50		58	54	52

## II. Коксуемость и характер разложения спекающихся углей.

Наиболее распространенную точку зрения на вопрос о причине спекаемости углей представляет теория, согласно которой спекающийся уголь содержит в себе в готовом виде плавкие и растворимые вещества, а иногда быть может и почти целиком состоит из них. Под влиянием нагрева часть органической массы угля плавится, в ней растворяется другая часть, а в этой смеси расплавленных и растворенных веществ диспергируется оставшая неплавкая и нерастворимая часть органической массы. Такое представление о наличии у спекающихся и отсутствие у неспекающихся углей плавких веществ всего проще, конечно, объясняет разницу в их поведении при нагреве.

Что касается различий в результатах коксуемости двух одинаковых, хорошо спекающихся углей, то их, в согласии с этой теорией, можно было бы отнести за счет различий в составе плавких веществ, за счет, скажем, различной вязкости расплава и т. п. Однако, сделав такие предположения о наличии в спекающихся углях плавких веществ, исследователь чувствует необходимость экспериментального доказательства и приходит неизбежно к мысли о попытке изолировать их из угля и подробно исследовать. Применение к исследованию углей методов разделительного анализа, наряду с более широкими целями выяснения их химической природы вообще, преследовало и эту более узкую задачу—выяснения сущности процесса спекания и коксуемости. Поскольку при этом применялись самые разнообразные растворители и различные условия, исследователи приходили к резко различающимся между собой выводам. Наибольший интерес в работах по экстрагированию углей представляют, нужно полагать, не выводы, которые в последующем под напором вновь открытых фактов могут изменяться, а фактическая сторона дела. Сопоставление добытых фактов и проведенных наблюдений должно являться наилучшим путем для суждения о правильности тех или иных выводов.

Рассмотрим, прежде всего, результаты, полученные при экстрагировании каменных углей без нагрева таким прекрасным во всех отношениях растворителем, как бензол. Он достаточно сильный растворитель, во-первых, нейтральный, во-вторых, легко удаляется перегонкой из экстракта, в-третьих. Оказывается, что экстрагирование холодным бензолом угля, при его обычном стандартном лабораторном измельчении, дает ничтожный выход экстракта. Так например, С. А. Гусинская и Э. И. Бескина (Днепропетровский металлургический институт) (6) при таком способе извлекли: 0,16% от веса горючей массы из жирного угля (ПЖ), 0,06% в одном случае и 0,09% в другом из коксового угля (К). Те же угли при экстракции бензолом в аппарате Сокслета, т. е. горячим бензолом, показали значительно большие выходы, а именно: 0,33%—уголь ПЖ и 0,23%—уголь К. Одной из причин столь мизерных выходов экстракта некоторые исследователи считают относительно малую поверхность угля, которую омывает растворитель. Объяснение это подкрепляется, между прочим, тем фактом, что Ф. Фишеру удалось при измельчении угля до величины зерна в 1 микрон получить при экстрагировании в аппарате Сокслета бензолом выхода, в двадцать раз превышающие те, которые получают в тех же условиях при стандартном лабораторном измельчении. И все-таки, если предположить, что холодный бензол вытянет у угля, подвергнутого такому измельчению, в 20 раз больше, чем в опытах Гусинской и Бескиной, то все же выход для угля К не превышал бы 2% от веса горючей массы.

Совсем иные результаты дает бензол, как растворитель, в условиях экстрагирования углей в автоклаве, например при давлении в 55 атмосфер, позволяющем доводить температуру до 285°. Применяя эти условия, Ф. Фи-

Таблица 6.

Угли	Спекаемость углей (по тигельной пробе)	Технический анализ			Элементарный состав		Экстракты		Состав экстракта		Температура разложения твердого битума
		W	A	V	С горючей массы	Н горючей массы	Количество в %/о/о	Темпер. плавления °С	Масляни- стый битум	Твердый битум	
1. Dilsbusg	Слабо спекающийся	4,32	17,15	38,25	74,30	5,32	1,98	89	51,8	48,2	176
2. Lohbesg	Слабо спекающийся	3,25	9,44	35,25	79,33	5,64	4,60	87	53,9	46,1	198
3. Altenwald	Спекающийся	1,30	26,65	36,89	85,53	6,74	4,56	83	55,8	44,2	226
4. Dudweiler	Хорошо спекающийся не вспученный	1,62	23,83	31,66	86,47	5,25	7,76	55	67,0	33,0	> 320
5. Psosper III	Хорошо спекающийся сильно вспученный	0,61	3,92	20,51	88,33	5,24	7,45	53	—	—	—
6. Osterfeld	" "	0,94	4,27	17,14	89,54	5,79	3,15	48	67,9	32,1	> 320
7. Thyssen	Хорошо сплавленный, очень сильно вспученный	0,91	7,21	21,81	90,32	5,43	7,60	48	68,0	32,0	> 360

шер (7) загружал в автоклав уголь зернами величиною с горошину и однако же получал выхода экстрагируемых веществ во много раз выше, чем при экстрагировании мелкораздробленного угля в аппарате Сокслета. В таблице № 6 помещены данные, характеризующие экстрагированные Ф. Фишером угли, выхода и состав экстрактов по растворимости в петролейном эфире (маслянистый битум, растворимый в петролейном эфире, и твердый битум, нерастворимый в петролейном эфире), температуры плавления экстрактов и температуры разложения твердых битумов. По этим данным можно установить некоторую зависимость спекаемости от общего выхода и состава экстракта, от температуры разложения твердого битума. Так, например, уголь с наихудшей спекаемостью дал наименьший выход экстракта; у слабо спекающихся углей экстракты содержат больший процент твердого битума, температуры плавления экстрактов соответственно выше, а температуры разложения твердых битумов ниже, чем экстрактов из углей хорошо спекающихся.

Объяснением повышенных выходов при экстрагировании в автоклаве может служить либо влияние высокого давления, благодаря которому растворитель проникает через поры глубоко внутрь зерен угля, либо влияние высокой температуры, благодаря которой происходит разложение угля и образование легкорастворимых веществ, либо совместное влияние того и другого фактора. Не нужно забывать, что те исследователи, которые старались подобрать возможно более низкокипящий растворитель или проводили экстрагирование холодным растворителем, поступали так, прежде всего, из опасения возможных изменений в составе органической массы угля под влиянием нагрева. Ф. Фишер перед экстрагированием проводил испытание углей на определение температуры разложения и нашел при этом, что наинизшей точкой начала разложения в данном случае была температура  $310^{\circ}$ . Поскольку в опытах температура не превышала  $285$  (на  $25^{\circ}$  ниже), разложение даже самого неустойчивого в термическом отношении из подвергавшихся экстрагированию углей исключалось. Казалось бы таким образом, что опасения возможных изменений в составе органической массы угля не обоснованы, что экстракты представляют собой вещества, заключавшиеся в угле в готовом виде, что повышенные выходы следует отнести исключительно за счет благоприятных условий действия растворителя. Но возникает вопрос, должно ли всякое изменение в составе органической массы угля обязательно сопровождаться выделением окрашенных паров и газов т.-е. видимым разложением угля, которое служило для Ф. Фишера критерием установления точки начала разложения?

Если подвергнуть уголь более или менее длительному нагреву в условиях, исключаяющих его окисление и видимое разложение, то можно—оказывается—получить при экстрагировании значительно больше растворимых веществ, чем из угля, не подвергавшегося такой обработке. W. Fuchs (8) приводит результаты выполненных таким путем опытов Harger'a, когда количество экстракта увеличилось в 7 раз. Уголь, содержащий  $36,7\%$  летучих, подвергался указанным исследователем несколько раз термической обработке в токе азота в границах температуры  $230—340^{\circ}$  и после каждого опыта нагрева экстрагировался; выход экстракта увеличился с  $1,2\%$  у исходного угля до  $8,5\%$  у угля подвергавшегося термической обработке.

„Жирный“ уголь Осиновского месторождения Кузбасса был подвергнут мной последовательному экстрагированию спиртобензолом, сперва без всякой обработки, потом остаточный уголь повторно экстрагировался после термической обработки в токе азота в продолжении 4 часов при  $300^{\circ}$ , второй остаточный уголь вновь экстрагировался спиртобензолом после обработки в продолжение 4 часов при  $350^{\circ}$ , третий остаточный уголь без новой обработки экстрагировался пиридином, четвертый остаточный уголь в

свою очередь без термической обработки подвергался экстракции фенолом. Результаты опытов приведены в таблице № 7.

Таблица 7.

Перечень опытов	Выход экстракта в % от угля
1-й опыт. Исходный уголь . . . . .	0,88
2-й опыт. Первый остаточный уголь, обраб. 4 часа при 300° . . . . .	1,92
3-й опыт. Второй остаточный уголь, обраб. 4 часа при 350° . . . . .	4,94
4-й опыт. Третий остаточный уголь, экстрагир. пиридином . . . . .	4,82
5-й опыт. Четвертый остаточный уголь, экстрагир. фенолом . . . . .	18,80

Технический анализ этого угля показал: влаги лабораторной 1,66%, золы на сухое вещество 9,8%, летучих на горячую массу 28,71%.

Следует отметить попутно одну любопытную деталь: пиридиновый экстракт растворялся в спиртобензоле на 75%, фенольный экстракт растворялся в спиртобензоле на 22%, а в пиридине на 100%. Нужно полагать, следовательно, что при обработке угля пиридином и фенолом происходило образование новых количеств веществ, растворимых в спиртобензоле.

Тот же уголь, подвергнутый термической обработке в продолжение 1 часа 10 минут при постепенном повышении температуры за это время от 200 до 375°, при экстракции спиртобензолом отдал растворителю 4,47%. Экстрагирование пиридином после повторной такой же обработки дало еще 6,37%. В первом случае сумма экстрактов спиртобензолом и пиридином составила 12,56%, в данном случае 10,84%. Есть все основания отнести более высокий выход в первом случае за счет более длительной термической обработки.

Спиртобензольный экстракт второй серии опытов растворялся на 57% в петролейном эфире и на 89% в бензоле. Пиридиновый экстракт этой же серии опытов растворялся на 25% в петролейном эфире и на 35% в бензоле. В сумме экстрактов вещества, растворимые в бензоле составляли 6,2% из 10,84%, а вещества, растворимые в петролейном эфире, по отношению к веществам, растворимым в бензоле, составляют 66%, т. е. приблизительно те же соотношения, которые давали хорошо спекающиеся угли у Ф. Фишера при экстрагировании бензолом под давлением. К этому нужно добавить, что условия термической обработки исключали возможность разложения угля с выделением окрашенных паров и газов. Так, например, в результате обработки угля в продолжение 4 часов при 300° и затем (без экстрагирования) еще в продолжение 4 часов при 350°, убыль в весе составила 2,7%, а в приборах удавливания привес выделявшихся при нагреве углекислоты и влаги составил по отношению к весу угля 2,58%. При обработке в течение часа при 375° убыль в весе сухого угля составляла 1,03%, а привес в приборах 1%.

Приведенные выше факты трудно, конечно, примирить с положением о неизменяемости состава органической массы угля при экстрагировании его в условиях высокого давления и температуры. Факты эти—убедительное доказательство обратного. Поэтому в объяснении причины повышенных выходов экстрагируемых веществ, при предварительной термической обработке, исследователи неизбежно приходят к выводу о том, что это есть результат распада содержащихся в угле сложных высокомолекулярных соединений на более простые, легко растворимые. В определенных температурных границах этот распад может происходить без отщепления легкокипящих жидких продуктов и газов, а затем, по мере углубления процесса разложения, появляются пары и газы.

Согласно результатам, проведенных А. Pott и его сотрудниками

исследований, момент начала видимого разложения угля соответствует наибольшему выходу растворимых веществ.

А. Pott, Н. Broche и др. (9) провели опыты экстрагирования различных углей в автоклаве смесью тетралина с первичными фенолами и нафталином при температурах: а) ниже температуры разложения угля, б) соответствующей температуре разложения угля и в) лежащей выше температуры разложения угля. Температурной точкой разложения угля названные исследователи считали момент резкого повышения количества выделяющихся из угля паров и газов. В таблице № 8 изложены результаты экстрагирования пяти углей при указанных температурах.

Таблица 8.

У г л и	Выход экстрагируемых веществ в %/о при температурах												
	Лежащей ниже температуры разложения угля						Соответствующей температуре разложения			Лежащей выше температуры разложения			
	290°	320°	330°	360°	370°	390°	390°	400°	405°	410°	425°	435°	450°
Casflammkohle . . . . .	—	36,7	—	45,6	—	—	—	74,0	—	—	37,5	—	20,7
Feitkohle . . . . .	—	24,3	—	41,2	—	70,7	—	—	77,1	—	53,8	—	—
Junge Gasflammkohle . . . . .	—	—	40,8	—	74,3	—	80,6	—	—	71,2	—	55,5	—
Oberschlesischekohle . . . . .	—	—	24,2	—	67,1	—	78,1	—	—	70,3	—	50,6	—
Braunkohle . . . . .	37,5	—	—	—	83,1	—	—	94,2	—	—	—	67,0	—

Из результатов исследований Фоксвелла (3), по определению температурного интервала пластического состояния углей можно видеть, что температура начала плавления углей лежит значительно выше температуры начала видимого разложения. Так, например, из 10 исследованных углей шесть имели температуру начала плавления при 400° и выше. Температура максимума плавления в его опытах колебалась от 400° до 515°, и температура конца пластического состояния колебалась для разных углей от 450 до 620°.

Как известно, точка начала плавления по методу Фоксвелла определяется по внезапному резкому повышению сопротивления протекающему через уголь инертному газу, максимум сопротивления соответствует максимуму плавления, а конец пластического состояния определяется по понижению сопротивления до его начальной величины в неплавившемся угле. В таблице 9 приведены результаты выполненных мной опытов исследования пластического состояния трех углей разных рудников Кузбасса методом Фоксвелла.

Таблица 9.

Название рудника и производственная марка угля	Технический анализ			Температурные точки		
	Wл	Ac	Vг	Начало плавления °С	Максимум плавления °С	Конец пласт. сост. °С
Осиновский рудник ПЖ . . . . .	1,66	9,80	28,71	430°	480°	570°
Ленинский рудник Г . . . . .	2,38	10,11	37,87	430°	470°	520°
Прокопьевский рудник К . . . . .	1,33	10,09	25,31	450°	500°	590°

Разложение угля представляет собой в физико-химическом отношении распад твердого, но даже внешне не всегда однородного, а фактически состоящего, по видимому, из очень большого количества разнообразных соединений тела на газообразные, жидкие, твердые, способные плавиться, твердые способные растворяться и твердые неплавкие и нерастворимые

вещества. Поскольку не представляется возможным точно учесть происходящие в определенном температурном интервале при таком распаде изменения в составе органической массы угля, невозможно дать и точную количественную оценку степени и характера разложения. Можно лишь относительно судить о степени разложения угля по количеству экстракта растворимых веществ или по количеству выделенных им газообразных и жидких продуктов при определенной температуре, а о характере разложения — по составу экстрактов или продуктов перегонки. Все же и такой приблизительный учет дает возможность установления определенной зависимости между степенью и характером разложения, с одной стороны, и спекаемостью углей, с другой.

Антрациты и сухие длиннопламенные угли представляют собой два крайних типа в ряду каменных углей. Общим для них является отсутствие способности в сколько-нибудь заметной степени плавиться и спекаться, но это общее свойство обусловлено различными причинами. Антрациты почти не дают или, во всяком случае, дают очень незначительные количества экстракта. Так, по данным Ф. Фишера (7), экстрагированный им бензолом под давлением антрацитовый уголь показал выход экстракта всего в 0,5%. Экстракт этот в основном состоял из маслянистого битума. Заметное разложение углей этого типа начинается при очень высокой температуре, и количество летучих продуктов разложения при этом очень невелико. Коротко говоря, антрациты характеризуются низкой степенью разложения, не обеспечивающей необходимого количества продуктов, обуславливающих плавление и спекание. В противоположность антрацитам, у длиннопламенных углей разложение с большой отдачей летучих продуктов начинается при относительно низкой температуре. Как можно судить по температурам разложения твердых битумов из экстрактов первых двух углей таблицы № 6, здесь не обеспечивается образования устойчивых высокоплавких и растворимых веществ. Разложение угля с самого начала идет глубоко, с преимущественным образованием летучих продуктов. Между этими двумя крайними типами располагаются разнообразнейшие типы углей различной степени и характера разложения, различной степени плавления и спекаемости.

Чрезвычайно интересные данные были получены Фоксвеллом (3) при исследовании разложения одного образца коксующихся углей. Уголь нагревался постепенно до определенной конечной температуры, и при этом определялись выходы продуктов разложения. В таблице № 10 изложены результаты опытов для пяти конечных температур с указанием выходов основных продуктов разложения.

Таблица 10.

Конечная температура нагрева	Продукты разложения				
	Кокс в % от угля	Деготь в % от угля	Газ в литрах на 100 г угля	Вода в % от угля	Удельный вес газа
400°	90,78	3,72	1,55	3,89	0,69
500°	85,28	4,50	4,02	6,31	0,65
600°	75,44	7,69	9,30	7,83	0,62
700°	70,11	7,73	15,65	10,49	0,52
800°	67,67	7,69	22,30	10,54	0,425
900°	66,36	7,68	25,95	10,54	0,400

Сопоставление приведенных в таблице результатов с результатами опытов исследования пластического состояния дает возможность установить различия в характере разложения коксующихся углей в период плавления и в последующий период завершения процесса коксования. При конечных

температурах в 400, 500 и 600°, т. е. в период пластического состояния, в улавливаемых продуктах разложения преобладают жидкие над газообразными (если сравнивать весовые соотношения тех и других). С завершением периода пластического состояния выделение новых количеств дегтя прекращается, и в дальнейшем от твердого остатка идет отщепление только газообразных веществ.

Можно, следовательно, отметить три отличающихся друг от друга периода разложения угля. Первый период—период, если так можно выразиться, скрытого разложения; начало его определить представляется затруднительным, а концом можно считать начало видимого разложения. О степени и характере разложения угля в этот период можно составить себе некоторое представление по количеству и составу экстрактов. Второй период представляет собой период пластического состояния до образования полукокса включительно. Третий период—остаточного газовыделения. Различие в характере разложения между двумя последними было выше отмечено. Все основные, решающие для качества кокса процессы протекают, несомненно, во второй период. Какой бы значительной ни была степень плавления угля, прочная цементация в коксовом остатке может быть не обеспечена, если при отгонке и разложении от максимума плавления до образования полукокса потери в веществах, обуславливающих плавление угля, будут очень велики; но и в тех случаях, когда указанные потери не достигают угрожающих размеров, прочность связей в коксе из угля относительно высокой степени плавления часто сильно нарушается при изменениях объема угольной загрузки в период плавления.

Опыты по определению степени размягчения углей при различных температурах нагрева печи, проведенные мной с углями разных месторождений Кузбасса, дают некоторые указания на общий источник тех отрицательных явлений, которые создают угрозу механической прочности кокса в период пластического состояния угля. Опыты на определение „чисел размягчения“ и соответствующих им „эквивалентов“ проводились по методу, описанному в первой части настоящей работы, при температурах печи в 500, 600, 700 и 800°.

Прежде всего можно отметить следующий любопытный факт. По данным опытов Фоксвелла, максимум плавления углей лежит приблизительно при 500°, в моих опытах все угли дают более высокие числа размягчения при 600° по сравнению с числами при 500°. Объяснение найти не трудно. Как отмечалось выше при рассмотрении результатов исследования коксующегося угля, после 500° возможно еще образование значительных количеств жидких веществ, способствующих увеличению степени размягчения угля. В противоположность постепенному и относительно медленному нагреванию угля в опытах по методу Фоксвелла, в данном случае уголь вводится в среду, имеющую конечную температуру, нагрев проходит концентрированно; маленькая навеска угля в очень короткий промежуток времени почти одновременно нагревается до одинаковой температуры во всех точках; плавление проходит тоже концентрированно, и образовавшиеся жидкие продукты не успевают улетучиться из угля до завершения процесса.

Затем обращает на себя внимание различие в поведении углей разных производственных марок в опытах при температурах в 700 и 800°. Коксовые угли показывают при этих температурах очень незначительные изменения в сторону уменьшения или увеличения чисел по сравнению с температурой в 600°. Жирные Осиновские и Ленинские газовые неизменно показывают значительное уменьшение чисел при 700 и при 800°.

Результаты испытаний даны в таблице 11.

В последовательном течении процесса разложения во второй период, т. е. в период пластического состояния, имеются две стадии. Одна—стадия



Таблица 11.

Произв. марка Угля	Рудник и шахта	Технический анализ			Числа размягчения и соответствующие им "эквиваленты" при температурах							
		W <sub>c</sub>	A <sub>c</sub>	V <sub>r</sub>	500°		600°		700°		800°	
					Числа размят.	Эквиваленты	Числа размят.	Эквиваленты	Числа размят.	Эквиваленты	Числа размят.	Эквиваленты
ПЖ	Осиновский рудник, 1-й гор.	0,90	7,90	29,10	210	88	224	90	188	85	145	78
ПЖ	" шахта 9	1,60	60	29,10	—	—	198	86	—	—	122	72
ПЖ	" шахта 9	1,40	9,20	28,30	—	—	169	82	—	—	116	71
Г	Ленинский рудник	2,38	10,11	37,87	55	53	74	60	63	56	57	54
Г	"	2,12	8,39	44,35	—	—	154	79	—	—	91	65
К	Прокольевский рудник, шахта Коксовая	0,80	7,20	22,25	71	59	88	64	89	64	80	62
К	" шахта 10	—	—	—	—	—	75	60	—	—	60	58
К	" шахта 7	—	—	—	—	—	46	50	—	—	53	53

распада какой-то более или менее значительной для углей хорошо спекающейся части заключенных в угле соединений с образованием, главным образом, жидких при этих температурах и растворимых соединений; она продолжается до максимума плавления. Другая—стадия образования твердого остатка. Она сопровождается отгонкой части жидких соединений и новым распадом соединений, обуславливающих плавление на газообразные, жидкие и твердый остаток.

Можно представить себе наличие в некоторых углях значительного количества таких малоустойчивых в термическом отношении соединений, которые в условиях высоких температур разлагаются сразу и очень быстро—до летучих, т. е. жидких легкокипящих и газообразных веществ, с одной стороны, и твердого остатка, с другой, минуя первую стадию. Так можно объяснить понижение „чисел размягчения“ у Осиновских и Ленинских углей при температурах опыта выше  $600^{\circ}$ . Длительное нагревание угля при температурах, ниже температуры видимого разложения, тоже, очевидно, может приводить к разложению этих малоустойчивых соединений с образованием жидких, легко кипящих „битумов“ (что показывает, например, повышение выхода экстрактов спиртобензолом при предварительной термической обработке с преобладанием в них маслянистого битума) и неплавкого, нерастворимого остатка. Во всяком случае, опыт нагрева в продолжение 8 часов при  $300^{\circ}$  в совершенно одинаковых условиях и последующее испытание на „числа размягчения“ „жирного“ угля Осиновского и „коксового“ Прокопьевского показали, что у них произошли совершенно различные изменения в результате обработки. „Жирный“ после обработки снизил число размягчения при температуре опыта в  $600^{\circ}$ , а число размягчения при  $800^{\circ}$  у него осталось неизменным. „Коксовый“, наоборот, повысил число размягчения при  $600^{\circ}$ , а число размягчения при  $800^{\circ}$  у него несколько снизилось, но незначительно.

Эти же малоустойчивые в термическом отношении соединения, повидимому, наименее устойчивы и при окислении углей. Новые пробы тех же двух углей выдерживались длительное время в сушильном шкафу при температуре в  $75-80^{\circ}$ , и затем для них опять определялись числа размягчения при  $600$  и  $800^{\circ}$ . Оказалось, что при окислении понижение чисел размягчения у жирного угля опять-таки больше всего происходит при  $600^{\circ}$ .

В таблице № 12 изложены результаты опытов по термической обработке (без экстрагирования) и окислению типичных представителей Осиновских жирных и Прокопьевских коксовых углей. Приведенные в таблице числа размягчения являются средне-арифметическими двух параллельных опытов во всех без исключения случаях.

Вот эти то малоустойчивые соединения, содержащиеся в значительном количестве в некоторых хорошо спекающихся углях, являются, повидимому, общим источником всех тех отрицательных явлений, с которыми обычно связывают ухудшение крепости кокса. Они могут препятствовать усадке вследствие, с одной стороны, повышения вязкости при внезапном разложении образовавшихся из них вначале плавких и растворимых веществ, а с другой—благодаря быстрому скоплению больших количеств паров и газов при этом разложении. А поскольку не будет происходить усадки при значительной потере плавящимся углем вещества, не будет и необходимого его уплотнения, что несомненно отразится на прочности связей в коксе. Они, наоборот, могут вызвать внезапную резкую усадку вследствие больших потерь летучих при слишком быстром разложении. А поскольку здесь одновременно будет столь же быстро происходить образование твердого остатка, не трудно представить себе, какую ломку произведет в нем эта резкая усадка. Они, наконец, могут явиться причиной ослабления связей в коксе вследствие больших потерь связующего материала. Понятно по-

Таблица 12.

Производственная марка угля, рудник и шахта	Технический анализ			Опыт при 600°		Опыт при 800°	
	W <sub>л</sub>	Ac	V <sub>г</sub>	Числа разм.	Экви-валент.	Числа разм.	Экви-валент.
ПЖ, Осинковский рудник, шахта 10 . . . . .	1,28	5,75	30,50	221	90	152	79
Тот же уголь после обработки при 300° в продолж. 8 час. . . . .	—	—	—	185	84	154	79
Тот же уголь после окисления в продолжен. 144 час. . . . .	—	—	—	110	69	108	69
Тот же уголь после окисления в продолжен. 288 час. . . . .	—	—	—	83	62	93	65
„К“, Прокопьевский рудник, шахта „Коксовая“ . . . . .	0,90	7,50	22,00	64	56	88	64
Тот же уголь после обработки при 300° в продолж. 8 час. . . . .	—	—	—	78	61	83	62
Тот же уголь после окисления в продолжен. 144 час. . . . .	—	—	—	43	49	53	53
Тот же уголь после окисления в продолжен. 288 час. . . . .	—	—	—	33	44	40	47

этому, насколько важно учитывать их присутствие в угле хотя бы и таким, может быть, несовершенным способом, как фиксирование разницы в эквивалентах при 600° и 800°. Разница эта, во всяком случае, может служить некоторой характеристикой большей или меньшей устойчивости угля в период его плавления.

В первой части этой работы было показано, что величины „эквивалентов“ в смесях обладают свойством аддитивности при температуре опыта в 800°. То же свойство они проявляют, как показали опыты, и при температуре в 600°, что можно усмотреть из таблицы № 13. Но в таком случае и разность эквивалентов между указанными двумя температурами тоже обладает свойством аддитивности, и, таким образом, облегчается учет ее при составлении смесей.

Таблица 13.

Производственные марки и лабораторные номера углей								Результаты опыта при 600°		Эквиваленты вычисленные для семей
ПЖ № 11	ПЖ № 2	ПЖ № 13	ПЖ № 8	К № 8	К № 4	ПС № 2	Г № 12	Числа раз-мяг.	Экви-валент-ты	
100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	238	92	65 56 75 62 57
								224	90	
								169	82	
								130	74	
								88	64	
								75	60	
								16	32	
								74	60	
		25%			50%		100%	84	63	
						25%	25%	71	59	
	50%		25%				50%	137	76	
				50%			50%	80	62	
50%							50%	69	58	

В самом деле, если имеется два компонента А и В, у которых „эквиваленты“ соответственно для 800° и 600° —  $X_A^{800}$  и  $X_A^{600}$  для одного и  $X_B^{800}$  и  $X_B^{600}$  для другого, и из них приготовлена смесь в составе  $a\%$  компонента А и  $b\%$  компонента В, которая даст „эквиваленты“  $X_C^{800}$  и  $X_C^{600}$ , то при аддитивности „эквивалентов“ в смесях имеем

$$X_C^{800} = \frac{a}{100} \cdot X_A^{800} + \frac{b}{100} \cdot X_B^{800}$$

$$\text{и } X_C^{600} = \frac{a}{100} \cdot X_A^{600} + \frac{b}{100} \cdot X_B^{600};$$

тогда:

$$X_C^{800} - X_C^{600} = \left( \frac{a}{100} X_A^{800} + \frac{b}{100} X_B^{800} \right) - \left( \frac{a}{100} X_A^{600} + \frac{b}{100} X_B^{600} \right) = \frac{a}{100} (X_A^{800} - X_A^{600}) + \frac{b}{100} (X_B^{800} - X_B^{600}),$$

то есть разность „эквивалентов“ смеси равняется разности „эквивалентов“ первого компонента, умноженной на долю его участия в смеси, плюс разность эквивалентов второго компонента, умноженная на долю его участия в смеси.

При большем, чем два компонента в смеси, разность ее „эквивалентов“ будет составлять сумму разности эквивалентов первого компонента на его долю участия, второго на его долю участия, третьего на его долю участия и т. д.

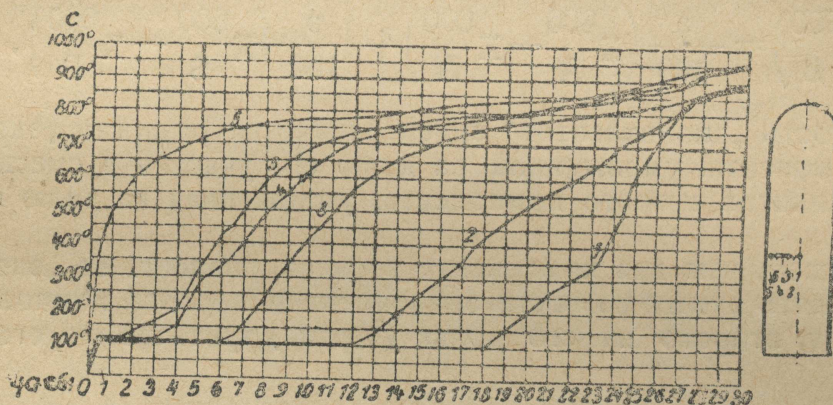
### III. Производственные условия коксования углей различной степени размягчения и термической устойчивости.

Процесс превращения угля в кокс в камере коксовой печи представляет собой чрезвычайно интересную картину. Обращает на себя внимание здесь прежде всего характер распространения тепла в угольной загрузке на протяжении всего периода коксования. Когда были проведены температурные замеры в различных точках угольной загрузки по ширине камеры, то оказалось, что в слое угля, прилегающем непосредственно к стенке печи, температура растет очень быстро, в слоях расположенных ближе к оси камеры на протяжении многих часов никакого заметного роста температуры не наблюдается; когда же в этих точках начинается подъем температуры, то он происходит со скоростью, мало отличной для слоев, более удаленных от стенки, и слоев, ближе расположенных к ней. В определенном температурном интервале скорость возрастания температуры в центре камеры даже обгоняет таковую в слое угля, расположенном на  $\frac{1}{4}$  ширины камеры от стенки. Приведенная на фигуре 5 диаграмма Hielgenstock'a (10) отчетливо показывает эти особенности распространения тепла в угольной загрузке коксовой печи.

Соприкасаясь с раскаленными стенками печной камеры, крайние слои загруженного угля быстро воспринимают от них тепло, и начинаются процессы разложения, приводящие к образованию по всей длине и высоте печи слоя пластической массы из расплавленных, растворенных и твердых диспергированных в растворе веществ. В последующем, при дальнейшем повышении температуры, в одной зоне этого слоя, обращенной к стенке, процесс разложения приводит к образованию твердого остатка, а с проти-

воположной стороны по мере роста температуры он, воздействуя на прилегающий слой угля, вызывает и в этом последнем процессы разложения и плавления. Сокращаясь с одной стороны и непрерывно возрастая с другой, слой пластической массы передвигается постепенно от стенки к середине печи. Этот пластический слой, представляющий собой как бы тепловую запруду, препятствует равномерному распространению тепла по всей толще угольной загрузки и обуславливает отмеченные выше особенности в распространении тепла в ней.

Такой характер распространения тепла в угольной загрузке—явление положительного характера. Если бы распространение тепла вглубь угольной загрузки не приостанавливалось образующимся в самом начале пластическим швом, и в отдаленных от стенки слоях происходил бы непрерывный и, само собой разумеется, очень медленный подъем температуры, то невозможно было бы получить в печи более или менее однородный кокс, да и вообще трудно было бы подыскать угли, пригодные в таких условиях для целей коксования. Дело в том, что, как показывает опыт, неко-



Фиг. 5.

торые угли при очень длительном нагреве уже при 300° начинают выделять жидкие маслянистые вещества, при 350° это выделение становится вполне заметным, а при 400° выделяются значительные количества масла, напоминающего маслянистый битум. Происходящая в условиях очень медленного нагрева и разложения отгонка жидких продуктов будет вызывать замедление процессов плавления и растворения в угле, одновременно будет происходить углубление процесса разложения, и часть растворимых веществ разложится до летучих продуктов и коксового остатка. В конечном счете непомерно растянутый процесс нагрева может привести к полной потере способности плавиться и спекаться даже у заведомо хорошо спекающегося угля.

Факты и соображения, изложенные в предыдущей главе настоящей работы, показывают, что наиболее ответственным и важным является для процесса коксования температурный интервал 300—600°. В этом температурном интервале происходит распад сложных органических соединений с образованием веществ, обуславливающих плавление; в середине его протекает самый процесс образования пластической массы из угля; в конце—образование полукокса. Естественно поэтому, что наибольший интерес скорость подъема температуры должна представлять именно в этот температурный интервал.

В производственных условиях, как известно, продолжительность коксования связана в основном с тремя факторами: влажностью коксуемого угля, температурой нагрева стенок и шириной печной камеры. При мало-различающейся влажности загружаемых углей и температуре нагрева сте-

нок печи, период коксования связан только с шириной печной камеры. Р. А. Мотт, Р. В. Уиллер (1), на основании данных различных авторов, выводят средние показатели времени для температурного интервала 300—600° в центре загрузки и на  $\frac{1}{4}$  расстояния от стенки по ширине камеры для коксовых печей с различной шириной камер и продолжительностью периода коксования, согласно таблице 15.

Таблица 15

Ширина камеры в мм	Период коксования в часах	Время в часах подъема температуры от 300 до 600°	
		На $\frac{1}{4}$ ширины камеры	В центре камеры
508	28—32	5	Около 3,5
430	16—17	3	Кругло 2,5
356	10—12	2	1,5

Это соответствует скорости нагрева: в 1°/мин. 1,7°/мин., и 2,5°/мин. в слое угля, расположенном на  $\frac{1}{4}$  ширины камеры от стенки; 1,4°/мин., 2°/мин. и 3,3°/мин.—в центре угольной загрузки.

При сопоставлении данных о скорости распространения тепла в угольной загрузке печей при различной ширине камер с приведенными выше соображениями о влиянии медленного нагрева на уменьшение степени плавления углей, становится понятным тот факт, что в широких камерах, как правило, дают лучший кокс угли и шихты более „жирные“, т. е. высокой степени плавкости, а в узких—с успехом коксуют угли и шихты относительно „тощие“, т. е. с пониженной степенью плавления.

Упомянутые авторы, проводившие широкие опыты коксования в производственных условиях разнообразнейших углей и смесей из них, приходят в этом отношении к таким выводам: „Рассматривая серию образцов, полученных из хорошо спекавшихся углей с большим содержанием летучих веществ и их смесей, видим, что более прочный кокс получался в широких печах, тогда как при плохо спекающихся углях с большим содержанием летучих веществ более прочный кокс получался в узких печах 11.

Наиболее широкое и полное исследование коксуемости углей Кузнецкого бассейна в производственных условиях было проведено в 1931 году оперативной группой Союзкокса на Кемеровской коксовой установке в печах 3-й батареи устаревшей системы О. Пиетт без регенерации (12). Средняя ширина камеры этих печей 375 мм, период коксования 16—18 часов. Предварительное опробование углей и шихт выполнялось путем коксования небольших проб угля в железных ящиках (размером 500×350×400 мм), помещаемых в коксовую печь перед загрузкой ее углем. Испытание крепости кокса ящичного коксования производилось в барабане уменьшенных, по сравнению со стандартным, размерах, при загрузке в него после рассева кусков кокса размером свыше 40 мм в количестве 25 килограмм. Таким способом были опробованы в частности угли различных пластов Прокопьевского, Осиновского и Ленинского месторождений без каких-либо добавок к ним других углей.

Уголь пласта III внутреннего Прокопьевского месторождения—типичный коксовый. Опытное коксование его без участия других углей, проведенное в другое время на той же Кемеровской установке, показало, что он дает кокс необычайно крепкий с остатком в барабане в 350 килограммов. Внешним признаком, отличающим кокс из угля пласта Горелого от кокса из угля пласта III Внутреннего, является меньшая сплавленность, большая

неоднородность. Зернистая структура коксов, как результат относительно низкой степени плавления, вообще является отличительным признаком коксов из углей типа ПС, относительно плохо спекающихся. Внешний вид коксов из углей Осиновского и Ленинского месторождений имеет много сходного между собой. В отчете оперативной группы коксу из углей Осиновского месторождения дается такая характеристика: „Кокс, получаемый при коксовании одних Осиновских углей в железных ящиках, был серебристо-светлый, мелкопористый, но с глубокими продольными трещинами, будучи несколько похожим на кокс Ленинских углей“. В сохранившемся на Кемеровском заводе отчете по опытному печному коксованию, проведенному в январе 1927 года проф. Рубиным, имеются данные барабанной пробы коксов из пластов 15 и Елбанского Осиновского месторождения при самостоятельном коксовании, в первом случае—барабан 257, во втором—230 килограммов. Коксу дается такая характеристика: „кокс с большой продольной трещиноватостью, легко разбивается на орех“.

Большая трещиноватость в кусках кокса присуща и Осиновским и Ленинским углям и является причиной их легкого распада при испытании в барабане на мелкие куски размером ниже 40 мм.

Общность явления, приводящего к пониженной крепости кокса из хорошо спекающихся углей Осиновского и Ленинского месторождений, дает основание предполагать и наличие общего источника этого явления. Подтверждением такой точки зрения может служить тот факт, что устранение причины, вызывающей понижение крепости кокса у данных углей, опять-таки достигается общим приемом. Угли Ленинского месторождения, исследовавшиеся коксованием в ящиках, давали при испытании в малом барабане очень низкий остаток—16,5% и меньше; угли Осиновского месторождения показывали крепость по остатку в барабане от 50 до 62%; уголь пласта Горелого Прокопьевского месторождения дал остаток в барабане около 48%. Когда к смеси разных пластов Осиновского месторождения, взятой в количестве 55%, было добавлено 45% угля пласта Горелого, остаток в малом барабане кокса из такой шихты составил 68%. Шихта из 50% смеси разных пластов спекающихся углей Ленинского месторождения и 50% пласта Горелого дала кокс, который показал остаток в барабане в 66%. Смесь же из 30% Осиновских, 25% Ленинских и 45% пласта Горелого дала кокс с остатком в барабане в 51%.

Такой характер поведения указанных углей подтвердился и при испытании коксов из смесей их с углем пласта Горелого в большом барабане. Смесь из 55% Осиновских и 45% пласта Горелого при печном коксовании дала кокс с остатком в барабане в одном случае 293 кг, в другом 312 кг. Смесь из 55% Ленинских углей и 45% пласта Горелого дала кокс с остатком в барабане—в одном случае в 292 кг, в другом случае 312 кг, а смесь из 50% Осиновских и 40% пласта Горелого, с прибавкой только 10% Ленинских углей, уже дала кокс крепостью только в 283 кг остатка в барабане.

Анализируя пластометрические показатели коксуемости углей, предложенные Л. М. Сапожниковым, Г. Л. Стадников приходит к заключению, что ординаты его классификационной диаграммы, по которым откладывается толщина пластического слоя, „выражают содержание в углях плавких веществ“ (3). Сравнение между собой углей с различной толщиной пластического слоя по сплавленности и однородности коксового остатка подтверждает правильность такого заключения.

То же самое можно сказать и относительно сравнения углей по толщине пластического слоя и числам размягчения (таблица 1).

Но отсюда следует вывод, что пластический слой не представляет собой во всех случаях одинакового состояния размягчения угля или одина-

ковой степени плавления. Пластическое состояние угля должно определяться наличием минимума в нем при данной температуре веществ, находящихся в расплавленном и растворенном состоянии. Если в данных температурных условиях такого минимума расплавленных и растворенных веществ не образуется, не образуется и пластический слой. И, действительно, один из исследованных мной углей, давший очень плохо спекшийся королек, при испытании его в аппарате Л. М. Сапожникова в лаборатории Коксохимического цеха Кузнецкого Metallургического завода (КМЗ) показал пластический слой, равный 0.

Результаты опытов Фоксвелла по исследованию газопроницаемости углей при их переходе в пластическое состояние убеждают в том, что пластический слой одного и того же угля не может представлять собой во всех точках по его ширине одинаковой степени плавления. Та часть или зона пластического слоя загрузки в коксовой печи, которая прилегает к незатронутому еще глубоко процессом разложения углю, будет, очевидно, в той степени размягчения, которая характеризует минимум веществ, находящихся в расплавленном и растворенном состоянии. Поры между отдельными зернами угля в этой зоне не закрыты, пары и газы разложения относительно легко удаляются в сторону наименьшего сопротивления их движению, т.е. по направлению к центру загрузки. Та часть или зона пластического слоя, которая прилегает к полукоксу, находится в состоянии начавшегося процесса затвердевания. Здесь идет образование открытых пор и трещин; путь наименьшего сопротивления для паров и газов разложения лежит отсюда по направлению к стенке через полукоксы и кокс. Третья зона пластического слоя, расположенная между двумя крайними, является зоной максимального размягчения угля, зоной максимума образующихся при разложении плавких и растворимых веществ. Для углей высокой степени плавления выход парам и газам в этой зоне затруднен, и они могут развивать значительной силы давление, чтобы выйти на холодную или горячую сторону угольной загрузки. Давление, которое развивают пары и газы в этой зоне максимума плавления, может играть положительную роль, уплотняя пластическую массу перед образованием полукокса и способствуя таким образом созданию более прочных связей в нем, когда оно является умеренным. Однако, будучи очень большим, оно может приводить к резко отрицательным явлениям в том смысле, что плотно прижимая кокс к стенкам, будет затруднять его выдачу из печи, во-первых, и вызывать в нем в результате сжатия множество трещин, во-вторых. Особо опасным как в этой зоне, так и в зоне начинающегося затвердевания является внезапное резкое увеличение паров и газов разложения, которое связано с образованием в углях плавких или растворимых термически-неустойчивых веществ. Внезапное резкое увеличение паров и газов в зоне максимального плавления может создать огромной силы давление со всеми вытекающими отсюда последствиями. Внезапное резкое увеличение выделения паров и газов в зоне начинающегося затвердевания вызовет такое же резкое ускорение этого процесса, благодаря чему образование открытых пор прекратится, а пары и газы разложения будут искать себе выход путем образования новых трещин в образующемся полукоксе.

Поскольку переход угля в пластическое состояние связан с разложением угля и поскольку, в свою очередь, характер разложения может измениться с изменением условий нагрева, нельзя устанавливать показатели вне зависимости от режима работы коксовой печи. И в данном случае степень размягчения угля, выражаемая „эквивалентами битумов“ при 800°, и степень термической устойчивости при плавлении, выражаемая разностью „эквивалентов“ при 800 и 600°, могла бы получить числовое выражение тех пре-



делов, которые характеризуют угли и смеси способные давать кокс с высоким барабаном, только по отношению к определенным производственным условиям. Наилучшим способом проверки пригодности этих показателей вообще и установления числовых характеристик для данного режима в частности был бы способ длительного и широкого опытного коксования в производственных условиях самых разнообразных углей с тем, чтобы можно было составлять и очень плохие и очень хорошие смеси по показателям наряду с нормальными, обуславливаемыми количеством и качеством поставляемых углей.

Возможность такой проверки в производственных условиях по понятным причинам для меня исключалась. Единственно, что можно было сделать, это вести испытания в продолжение некоторого времени поступающих на коксовую установку КМЗ углей и испытание текущих шихт этой установки летом 1936 г.

С 20 июля по 5 августа 1936 года в лаборатории коксового цеха Кузнецкого металлургического завода имени И. В. Сталина, с помощью студентов-практикантов Иркутского государственного университета, мною были испытаны 32 пробы углей, поступавших в цех с Осиновского, Прокопьевского и Судженского рудников, и 22 пробы заводских шихт. Участие в этих шихтах углей различных марок в среднем за указанное время таково: ПЖ — 30%, К — 45% и ПС — 25%.

В таблицах 16 (угли) и 17 (шихты) приведены числовые характеристики показателей коксуемости, предлагаемые автором настоящей работы. Установить более или менее точно качество кокса по барабанной пробе из каждой шихты в отдельности не представлялось возможным, колебания же барабанной пробы кокса за эти дни — от 290 до 311 кг.

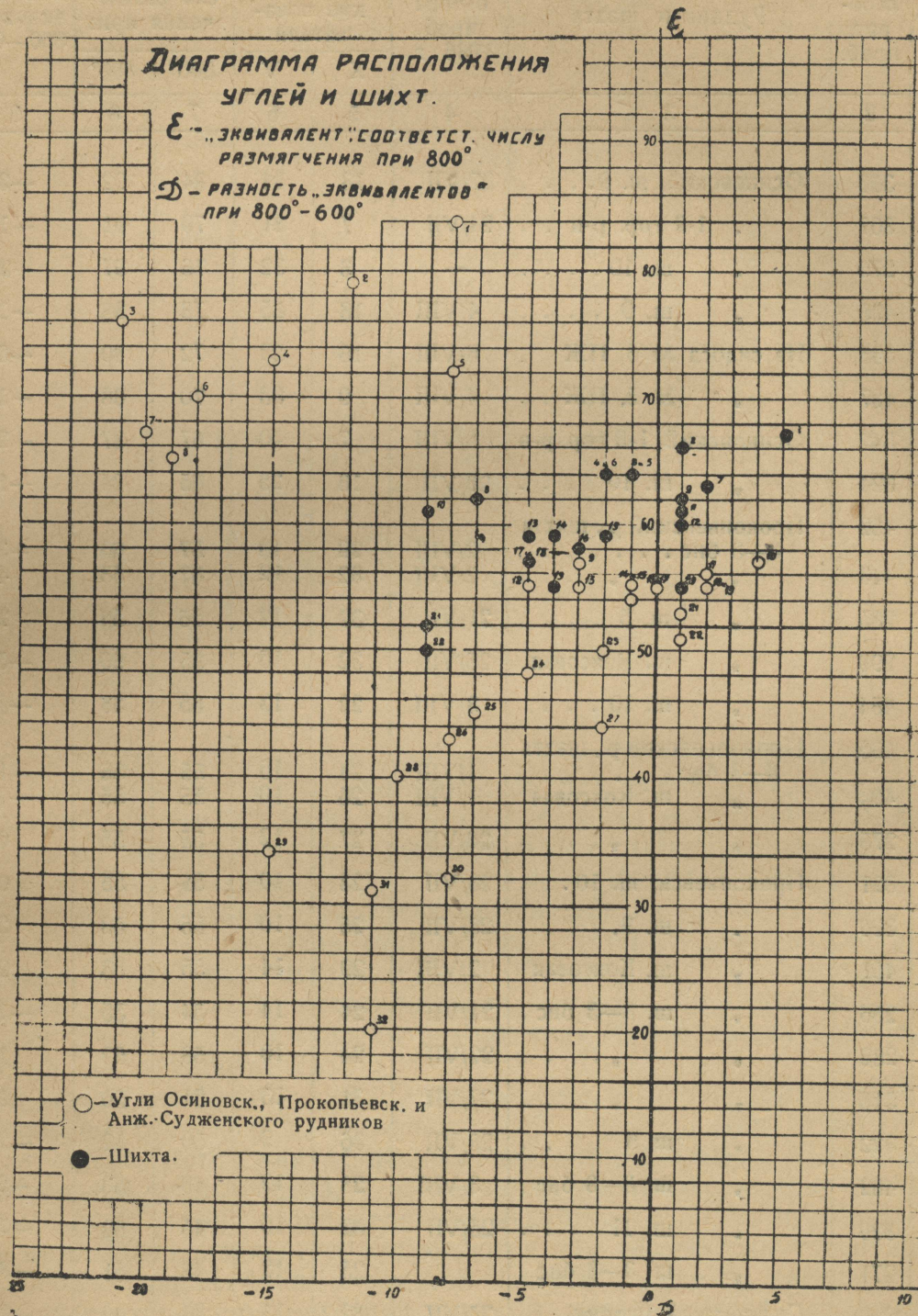
Перечисленные в таблицах угли и шихты нанесены на диаграмме фигуры 6 в системе:  $E$  — „эквиваленты чисел размягчения“ при температуре опыта  $800^\circ$ ,  $D$  — разность (положительная или отрицательная) „эквивалентов“ при температурах опыта при  $800^\circ$  и  $600^\circ$ .

В таблице 16 угли, начиная с № 9 и по 25 включительно и, кроме того, №№ 29 и 32, маркированы рудниками как „К“, т. е. коксовые угли. Если строго руководствоваться данными пластометрических показателей лаборатории коксового цеха КМЗ, то нельзя признать ни одного из всех приведенных в таблице 16 углей коксовым. К тому же, согласно этим данным, угли, маркированные рудниками как К, выглядят очень неоднородными, отличаются большим непостоянством своих характеристик по коксуемости и т. д. В противоположность этой неприглядной картине, даваемой пластометрическим анализом, характеристики по „эквивалентам“ находятся в полном согласии с маркировкой рудников, за исключением углей №№ 24, 25, 29 и 32, и устанавливают, наоборот, постоянство углей, отсутствие резких колебаний в числовых характеристиках.

Столь резкое противоречие в характеристиках углей по одному и другому методу объясняется, повидимому, тем, что при пластометрических анализах допускались отступления от установленных инструкцией очень строгих требований. Метод Л. М. Сапожникова не допускает никаких отступлений от требований, изложенных в инструкции, в отношении равномерности нагрева, влажности угля, степени измельчения и т. д. В условиях массового лабораторного контроля этим требованиям не всегда можно удовлетворять в полной степени.

Как показывает таблица 17 и диаграмма фигуры 6, все шихты уложились по степени размягчения в промежутке 70—50. „Эквивалент“ 50 приближается, очевидно, к нижнему пределу коксуемости в условиях режима коксования на установке КМЗ.

Если внимательно присмотреться к расположению шихт на диаграмме,



Фиг. 6.

Таблица 16.

№№ по порядку	№№ лаборат. проб.	Рудник и шахта	Время отбора проб 1936 г.	Пласто-метрические показатели		Эквив. число размягчения при:		Разность эквивал. 800—600
				X	V	800°	600°	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	303	Осиновский, ш. 9 . . . .	27/VII	13	34	84	92	—8
2	307	„ 1-й гор. р-н . . . .	24/VII	7	31	79	91	—12
3	270	„ ш. 10 . . . . .	—	8	32	76	97	—21
4	498	„ ш. 9 . . . . .	4/VIII	18	35	73	88	—15
5	535	Из силоса № 6, ПЖ . . .	6/VIII	16	23	72	80	—8
6	487	„ № 5, ПЖ . . . . .	4/VIII	9	33	70	88	—18
7	542	Осиновский, 1-й гор. р-н	6/VIII	7	40	67	87	—20
8	324	„ ш. 10 . . . . .	28/VII	18	25	65	84	—19
9	452	Прокопьевский р., шахта						
		3—3 бис . . . . .	2/VIII	29	13	57	60	—3
10	443	„ „ . . . . .	2/VIII	32	12	57	53	4
11	285	„ ш. 5 . . . . .	21/VII	32	12	56	54	2
12	298	„ ш. Коксовая . . . . .	25/VII	32	16	55	60	—5
13	484	„ ш. 10 . . . . .	3/VIII	22	13	55	58	—3
14	435	Прокопьевский р., шахта						
		3—3 бис . . . . .	1/VIII	24	15	55	56	—1
15	434	„ ш. Коксовая . . . . .	1/VIII	26	10	55	56	—1
16	275	„ „ . . . . .	20/VII	27	12	55	55	0
17	321	Прокопьевск, ш. 10 . . . .	23/VII	23	10	55	55	0
18	326	„ ш. 9, . . . . .	28/VII	25	10	55	53	2
19	451	„ ш. Коксовая . . . . .	2/VIII	29	14	55	53	2
20	256	„ ш. 3—3 бис . . . . .	24/VII	24	14	54	55	—1
21	282	„ „ . . . . .	22/VII	24	10	53	52	1
22	316	„ „ . . . . .	27/VII	31	13	51	50	1
23	322	„ ш. 5 . . . . .	28/VII	36	9	50	52	—2
24	482	„ ш. 3—3 бис . . . . .	3/VIII	28	12	48	53	—5
25	320	„ ш. 11 . . . . .	25/VII	32	10	45	52	—7
26	271	„ ш. 3—3 бис . . . . .	—	25	12	43	51	—8
27	240	Судженский рудник . . . .	22/VII	32	11	44	46	—2
28	249	„ „ . . . . .	22/VII	34	13	40	50	—10
29	466	Прокопьевск, ш. 10 . . . .	2/VIII	35	7	34	49	—15
30	543	Судженский р-н . . . . .	6/VIII	33	16	32	40	—8
31	297	„ „ . . . . .	26/VII	30	9	31	42	—11
32	467	Прокопьевск, ш. 9 . . . .	2/VIII	29	8	20	31	—11

Таблица 17.

№№ по порядку	№№ лаборат. проб.	Место отбора пробы	Время отбора пробы	Пластометрич. показатели		Эквиваленты чисел размягчен. при:		Разность эквивалентов
				X	V	800°	600°	
1	499	С ленты на турму . . .	4/VIII	17	23	67	62	5
2	268	" " . . . . .	24/VII	21	22	66	65	1
3	242	" " . . . . .	22/VII	26	19	64	65	-1
4	243	Из загруз. вагона . . .	—	26	15	64	66	-2
5	273	С ленты на турму . . .	25/VII	27	19	64	65	-1
6	323	" " . . . . .	28/VII	24	17	64	66	-2
7	254	" " . . . . .	24/VII	28	20	63	61	2
8	255	" " . . . . .	23/VII	24	18	62	69	-7
9	298	" " . . . . .	26/VII	25	18	62	61	1
10	300	" " . . . . .	26/VII	26	18	61	70	-9
11	486	" " . . . . .	4/VIII	25	15	61	60	1
12	507	" " . . . . .	5/VIII	23	17	60	59	1
13	244	Из загруз. вагона . . .	22/VII	27	20	59	64	-5
14	245	С ленты на турму . . .	23/VII	20	19	59	63	-4
15	479	" " . . . . .	3/VIII	25	15	59	61	-2
16	272	" " . . . . .	—	22	18	58	61	-3
17	319	" " . . . . .	7/VII	27	17	57	62	-5
18	442	" " . . . . .	2/VIII	19	18	57	62	-5
19	468	" " . . . . .	3/VIII	25	16	55	59	-4
20	478	" " . . . . .	3/VIII	27	14	55	54	1
21	241	" " . . . . .	22/VII	28	17	52	61	-9
22	501	" " . . . . .	4/VIII	28	16	50	59	-9

можно заметить любопытную особенность этого расположения. А именно шихты располагаются в основном полосой под углом приблизительно в  $45^\circ$  к абсциссе, так что, по мере повышения степени размягчения, должна повышаться их термическая устойчивость. Такое расположение шихт, дающих более или менее постоянные результаты по барабанной пробе кокса, вполне закономерно, поскольку отрицательное влияние на крепость кокса отрицательной разности „эквивалентов“ растет с повышением степени размягчения углей. Этот факт исчерпывающе объясняет нам особенность поведения углей Осиновского месторождения при их самостоятельном коксовании, как углей высокой степени размягчения при больших отрицательных разностях „эквивалентов“.

В противоположность углям Осиновки, все угли Прокопьевского месторождения, со степенью размягчения от 50 „эквивалентов“ и выше (коксовые), характеризуются или незначительной отрицательной, или положительной разностью эквивалентов, т. е. являются углями термически более устойчивыми. Среди углей Прокопьевского месторождения, со степенью размягчения ниже 50 эквивалентов, встречаются как термически устойчивые, так и термически неустойчивые угли. В данном случае на диаграмме нет ни одного угля степени размягчения ниже 50 „эквивалентов“ с положительной разностью эквивалентов (Прокопьевский и Анжеро-Судженский рудники); но как показали испытания нескольких проб, отобранных мною на коксовой установке КМЗ летом 1935 года, такие угли среди Прокопьевских встречаются.

Из изложенного выше следует, что успешное коксование углей Осиновки возможно при условии добавки к ним таких углей, которые в первую очередь понижали бы для смеси отрицательную разность эквивалентов, т. е., углей термически устойчивых.

Коксовая установка КМЗ до 1935 года получала углей марки К с Про-

копьевского рудника такое количество, которое могло обеспечить их участие в шихте в 25—30%; углей Осиновки шло в шихту в среднем 30%, а 40—50% углей марки ПС, так что в смеси преобладали угли ПЖ и ПС (70—75%). Поскольку среди углей типа ПС часто встречаются угли термически неустойчивые, такая шихта не обеспечивала достаточной термической устойчивости в смеси, и кокс получался невысокого качества (барaban 270—290 кг). Положение резко изменилось, когда в 1935 г. установка смогла давать 45—50% углей типа К и снизила участие ПС до 20—25%.

Шихта, составленная из углей различной степени размягчения и термической устойчивости, и коксовый уголь, если даже они имеют и совершенно одинаковые показатели и коксуются в совершенно одинаковых условиях, могут дать коксы, значительно разнящиеся по крепости. При этом различия в свойствах кокса будут тем большими, чем резче разница в свойствах отдельных компонентов, входящих в состав шихты. В этом случае причину различий следует искать прежде всего в неудовлетворительном смешении шихты, в неравномерном распределении отдельных компонентов в угольной загрузке. Кокс здесь будет представлять собой не однородную массу, а связанные друг с другом куски и кусочки коксов из отдельных компонентов.

В такой же степени сказанное относится и к степени дробления углей перед смешиванием, к равномерности дробления. Шихта и коксовый уголь, с одинаковыми показателями коксуемости, могут давать коксы более или менее схожие по свойствам только при условии такого измельчения и такого смешения в шихте компонентов, которые в достаточной мере обеспечат однородность состава угольной загрузки в печь.

### Выводы.

1. Степень размягчения угля нужно признать основным показателем коксуемости, поскольку без перехода угля в пластическое состояние невозможно образование кокса.

2. Из всех предложенных до сих пор методов количественной характеристики степени размягчения спекающихся углей, метод профессора И. В. Геблера в наибольшей степени отвечает условиям текущего заводского лабораторного контроля по своей простоте, надежности и скорости выполнения опыта.

3. Неудобства оперирования с „числами размягчения“, получаемыми по методу проф. И. В. Геблера, устраняются путем перевода этих „чисел“ в „эквивалентные“ им величины заведомо плавких веществ, выраженных в процентах содержания этих веществ в смеси с веществом совершенно неплавким. Последние обладают свойством аддитивности в смесях и позволяют таким образом сравнительно просто производить расчет при составлении смесей.

4. Одной количественной характеристики степени размягчения, однако, недостаточно для характеристики коксуемости, поскольку встречаются угли с одинаковой количественной характеристикой степени размягчения, но с резко различной коксуемостью. В настоящей работе показано, что в этом случае различия в коксуемости связаны с различным характером разложения углей в период их размягчения. Различный характер разложения обуславливается неодинаковой термической устойчивостью веществ, образующихся при первоначальном разложении угля.

5. Разность „эквивалентов“ при температурах опыта 800° и 600° достаточно отчетливо характеризует термическую устойчивость углей в период пластического состояния. Поскольку „эквиваленты“ обладают свойством аддитивности при обеих названных температурах опыта, постольку и новая

величина „разность эквивалентов“ (положительная или отрицательная) обладает тем же свойством. Таким образом, не создается затруднений при расчете шихт и в этом случае.

6. Проверка предлагаемого метода определения коксующести на углях и шихтах коксовой установки Кузнецкого металлургического завода имени И. В. Сталина дает основание к заключению о пригодности его для повседневного лабораторного контроля.

#### ЛИТЕРАТУРА.

- 1) P. Damm, Glückauf N. 32, 1928. („Свойства коксовых углей и процессы при их коксовании“).
- 2) Г. Агде и Л. Линкер. „Процесс образования кускового кокса“. Перевод с немецкого, изд. 1931 г.
- 3) По Г. Л. Стадникову. „Химия коксовых углей“, изд. 1934 г.
- 4) К. М. Сапожников и Л. П. Базилевич. „Химия твердого топлива“, выпуск 2—3 за 1932 г. („Пластометрическое изучение процесса коксования“).
- 5) И. В. Геблер. Кокс и химия. № 10 за 1934 г. („Метод определения степени размягчения углей при нагреве и новые числовые характеристики для спекающихся углей“).
- 6) С. А. Гусинская и Э. И. Бескина. Кокс и химия. № 1 за 1934 г. („Об изменности каменноугольных битумов при хранении углей на воздухе“).
- 7) F. Fischer, Broche, Strauch. Brennstoff-Chemie. 3,33—43. 1925 г. („О составных частях каменноугольного битума и роли отдельных частей его для спекания и вспучивания каменных углей“).
- 8) W. Fuchs. Die Chemie der Kohle. Berlin. 1931 г.
- 9) A. Pott. Broche. u. an. Glückauf. 1933. S. 903.
- 10) По Заммерсбаху и Шнейдеру. „Основы химии кокса“. Перевод с немецкого, изд. 1933 г.
- 11) Р. А. Мотт и Р. В. Уиллер. „Кокс для доменных печей“. Перевод с английского, издание 1934 г.
- 12) „Опытное коксование углей Кузнецкого бассейна“. Отчет оперативной группы Союзкокса в обработке С. И. Панченко, под редакцией проф. М. И. Кузнецова. Издание 1932 г.
- 13) Г. Л. Стадников: а) Химия твердого топлива. Вып. 11—12 за 1932 г. („Теория процесса коксования“ и „Вопрос о плавлении углей при коксовании на третьей международной конференции по каменным углям в Питтсбурге (САСШ)“); б) Химия твердого топлива. Вып. 6 за 1933 г. („Основные положения для составления промышленной классификации ископаемых углей СССР“); в) Химия твердого топлива. Вып. 4 за 1934 г. („Новые данные к учению о процессах при коксовании углей“).
- 14) И. А. Орлов. „Очерки по химии угля“. (Общая химия угля). Издание 1934 г.
- 15) Работы Л. М. Сапожникова и его сотрудников в журнале. („Химия твердого топлива“ за 1935 г., вып. 1, 2, 3 и 4 по исследованию параметров пластометрической классификации).
- 16) Штрахе-Лант. „Химия угля“, издание 1931 г.
- 17) В. А. Вехов, С. И. Золотов и Г. И. Подбельский. „Классификация углей Кузбасса по коксующей способности“.
- 18) Н. П. Чижевский и Г. Н. Дмитриев. Химия твердого топлива. Выпуск 6 за 1935 г. („Опыт классификации каменных углей по коксующей способности“).
- 19) М. Б. Каменский. Кокс и химия. № 7 за 1935 г. („Сферометрический экспресс-метод определения коксующести углей и их смесей“).
- 20) К. Н. Шишкин. Кокс и химия. № 4 за 1934 г. („Битумы и коксующие свойства углей“).
- 21) Сборник работ сотрудников Харьковского научно-исследовательского института по химии углей и исследованию процесса коксования, изданный в 1932 г. (Сборник работ по химии углей. 1929—1931 гг. Харьков. 1932 года).
- 22) P. Michaelis. Glückauf. 18, 413—423. 1935 г. („Опыт коксования мелкого лежалого угля“).
- 23) K. Bunte, H. Brückner, W. Ludewig. Glückauf. N. 34, 1933 г. („Прибор для определения поведения угля при размягчении и образовании кокса“).
- 24) H. Winter. Glückauf, № 34 за 1932 г. („Аналитическое разложение угля“).
- 25) B. Neumann, L. Kremser. Glückauf. № 36 за 1933 г. („Поведение петрографических отдельностей верхнесилезского угля при коксовании, полукоксовании и экстракции“).