

К ВОПРОСУ ОБ УВЕЛИЧЕНИИ НАСЫПНОГО ВЕСА ШИХТЫ В КАМЕРЕ КОКСОВОЙ ПЕЧИ¹⁾

И. В. ГЕБЛЕР, Н. И. ГНЕДИН

Уплотнение коксовых шихт, то есть увеличение насыпного веса шихты в камере коксовой печи, как известно, имеет двойное значение.

Во-первых, при уплотнении шихты увеличивается производительность коксовых печей без увеличения имеющихся мощностей. Принимая во внимание это обстоятельство и учитывая соображения технологического порядка, по директивным указаниям со стороны Главкокса было предусмотрено некоторое увеличение периода коксования (с некоторым снижением температуры в вертикалах), что, конечно, неизбежно приводит к снижению производительности коксовых установок.

Последнее обстоятельство может быть компенсировано главным образом увеличением загрузки шихты, то есть путем ее уплотнения в коксовой печи.

Во вторых, уплотнение шихт идет параллельно с их относительным отощением в отношении спекаемости, то есть чем выше насыпной вес шихты, тем более тощей может быть она без снижения качества кокса при одних и тех же условиях режима коксования.

При наибольшей степени уплотнения шихт, когда насыпной вес достигает 1100—1150 кг/м³, что может быть достигнуто путем трамбования, даже очень тощие по спекаемости шихты, как это показано работами Н. П. Чижевского [1], давали хороший кокс, в то время как из тех же шихт при обычной верхней загрузке получался кокс настолько мусористый, что его невозможно было выдать машиной, а приходилось извлекать из печи вручную.

Указанные работы Н. П. Чижевского, а позднее и других исследователей имеют чрезвычайно большое значение вообще и, в частности, для восточных заводов, где до сего времени еще приходится вводить в шихты большой процент жирных углей.

Насыпной вес измельченного угля зависит от его влажности, температуры и гранулометрического состава, а для шихт, загружаемых в коксовую печь, также и от условий загрузки. Зависимость насыпного веса от влажности общеизвестна. Насыпной вес влажного угля понижается до содержания влаги 7—10%. Дальнейшее увели-

¹⁾ Работа выполнялась на кафедре химической технологии топлива Томского политехнического института и в Угольной лаборатории Западно-Сибирского филиала АН СССР.

чение влаги в шихте приводит к увеличению насыпного веса. Однако использование шихт с большим содержанием влаги не представляется возможным хотя бы по той причине, что с ее увеличением в шихте период коксования возрастает примерно, на 0,5 часа на каждый 1% влаги, что приводит к уменьшению оборота печей и, следовательно, к снижению производительности установок.

Влияние температуры на величину насыпного веса измельченного угля в сторону его повышения сказывается при температурах ниже 0°, т. е. при переходе влаги в твердое состояние, если при этом нет смерзаемости. Наблюдения, проведенные на заводах в этом направлении, показали, однако, что при обычном движении через угледоготовку уголь не переохлаждается даже в условиях суровой зимы и что на наклонном транспортере шихта охлаждается ниже 0° только при температуре наружного воздуха не менее 30°C [2]. Таким образом, использование замерзания шихты для сезонного повышения насыпного веса требует особых условий работы угледоготовительных цехов.

Кроме того, отмечаются возможные затруднения при использовании охлажденных ниже нуля шихт вследствие их повышенной текучести.

В журнале химической промышленности [3] помещен реферат, где приводится описание опытов коксования угля с различным размером зерен, причем производилось определение насыпного веса шихты. Из сухого угля (выход летучих 26,2%, золы 7,4%) были приготовлены образцы с различной крупностью зерен (табл. 1).

Таблица 1

№ образцов	Крупность зерен угля в дюймах
1	2-1
2	1-1,2
3	1/2-1/4
4	1/4-1/8
5	1/8-1/16
6	1/16-1/32
7	1/32-0
8	„Мука“ (очень тонкое измельчение)
9	Смесь № 2 + № 8 (в отношении 1:1)

Из отдельных образцов высокий насыпной вес получен у образца № 2; максимальный насыпной вес получился у образца № 9 при заполнении воздушных промежутков крупно-зернистого угля угольной „мукой“.

Применение угля в таком крупном измельчении для коксовых шихт, как известно, не практикуется, но подобные соотношения наблюдаются и для углей с большей степенью измельчения, и в этом заключается уплотняющий эффект дифференциального помола. Однако возможность такого приема очень ограничена в условиях работы угледоготовительных цехов.

Для повышения насыпного веса шихты предложено смачивание ее небольшими количествами 0,1—0,3% углеводородных жидкостей—керосином и некоторыми маслами коксохимического производства (метод ЭНИН АН СССР). Из таких масел наиболее доступным практически для заводов нужно считать фильтрованное антраценовое масло, после выделения сырого антрацена. Прибавка такого масла рекомендуется от 0,3 до 0,8%, причем насыпной вес шихты (с влажностью 4,9—5,8%) должен увеличиться на 5—7,9% [4,5].

В среднем выход смолы при коксовании составляет 3% на рабочую шихту, а количество антраценового масла, получаемого при дистилляции смолы, составляет около 16—20%; таким образом, выход антраценового масла по отношению к шихте составляет 0,5—0,6%. Поэтому прибавка антраценового масла более 0,6% для завода, использующего свое масло, не может быть осуществима. При нижнем из указанных пределов 0,3% расходуется половина всей добычи масла. При этом в обычной практике работы углеподготовительных цехов на восточных заводах повышение насыпного веса, по свидетельству технического руководства заводов, составляло 150—200 кг на печь, т. е. самое большее 1,2, а не 5%, как это указывается в литературе. Причина этого, по-видимому, заключается в большой трудности удовлетворительного смешения шихты со столь малым количеством масла в производственных условиях, особенно в холодное время при температуре шихты, например, +5°C, +2°C, когда масло густеет и с увеличением его вязкости достигнуть полноты смешения становится еще более затруднительным.

Кроме того, расходование антраценового масла, а равно и других масел (керосин) для намамливания шихты, если этим преследуется только уплотнение ее в коксовой камере, едва ли целесообразно и потому, что это приводит к удорожанию производства.

Так, для антраценового масла при стоимости его 670 рублей за тонну и прибавке масла в количестве 0,3% дополнительный расход на тонну шихты составит:

$$670 \times 0,003 = 2,01 \text{ руб.}$$

Если принять увеличение насыпного веса шихты при добавке 0,3% антраценового масла в 2% и выход кокса в 75% на рабочую шихту, то дополнительная прибыль за счет увеличения количества металлургического кокса, получаемого при увеличении количества шихты на 2%,¹⁾ при цене кокса 120 рублей тонна, по отношению к одной тонне шихты без намамливания, будет:

$$(120 \times 0,75)(1,0117 - 1) = 1,05 \text{ руб.};$$

стоимость же масла на 1 т шихты составит:

$$670 \times 0,003 = 2,01 \text{ руб.}$$

Таким образом, стоимость намамливания шихты не покрывается прибылью за счет добавочного кокса и обходится производству в условиях примера, взятого из практики, в 0,96 руб. на 1 т шихты. Следовательно, в экономическом отношении применение для уплотнения шихт, даже такого наиболее доступного на коксовых заводах малоценного продукта, как антраценовое масло, является невыгодным.

Уплотнение шихты в камере коксовой печи может быть достиг-

¹⁾ Расчет количества кокса в соответствии с насыпным весом шихты приведен ниже.

нито механическим путем. Наибольшее уплотнение достигается, как известно, путем трамбования шихты при помощи особой машины вне камеры печи, с последующим введением в нее получаемого таким способом угольного блока; при этом вес единицы объема угля может быть доведен до 1200 кг/м^3 [6].

При обычной верхней загрузке печей насыпной вес шихты может изменяться от условий загрузки и планирования.

По П. Л. Герцбергу [7], нельзя принять какой-либо один метод загрузки, который был бы вообще оптимальным. Последовательность опораживания бункеров неодинакова при одном или двух стояках, имея в виду сопротивление газовых потоков. На величину насыпного веса влияют высота и плотность заполнения шихтой бункеров в загрузочном вагоне и степень очистки от графита загрузочных люков. Метод загрузки не оказывает влияния на насыпной вес шихты при влажности меньше 4% .

В отношении планирования в литературе указывается [8], что ввод планира в камеру должен увеличиваться постепенно от 2—3 до 8 м при всегда полных выводах, это приводит к постепенному размещению избыточных количеств угля и уменьшает выброс его планиром.

Из практики работы коксовых установок известно, что некоторые машинисты загрузочных вагонов дают большую загрузку по сравнению с другими. Так, например, на одном заводе был констатирован случай загрузки шихты (в летнее время) одним из машинистов на $2,7\%$ больше по сравнению с планом.

При планировании наблюдаются различные приемы работы: число двойных движений (ввод планира в камеру и его вывод) колеблется от 8 до 15 при различной степени выдвижения.

Систематический контроль процесса загрузки и планирования надлежащим образом не ведется и оптимальных условий для этого, вообще говоря, не выработано. Между тем рационализация процесса загрузки в целях повышения насыпного веса и соответственно увеличения тоннажа камеры должна явиться наиболее простым и дешевым средством для этого.

Планирование приводит само по себе к уплотнению шихты и в этом отношении имеет значение конструкции планира. Наиболее удачным, по-видимому, является планир инженера Б. С. Филиппова, имеющий ряд нажимных устройств („утяжков“) в виде треугольных призм, расположенных на рабочей длине планирной штанги. По данным одного завода, такой планир дает уплотнение шихты от 2 до 3% по сравнению с планиром обычного устройства. Уплотнение, производимое планиром, не проникает глубоко, оно сосредоточивается лишь в верхних слоях угля непосредственно под планиром. Это видно из цифр, которые приводятся для характеристики уплотняющего действия планира под влиянием провисания планирной штанги [9]. Данные по этому поводу приводятся в табл. 2

Таблица 2

Изменение насыпного веса шихты в камере коксовой печи

Расстояние места забора пробы от верха загрузки в м	Расстояние места забора пробы от двери в м							Среднее кг/м^3
	0,260	3,015	4,145	6,200	7,700	9,925	12,740	
0,50	—	758	857	899	907	937	851	868
1,400	713	747	791	795	775	790	771	768
2,900	745	746	830	799	748	763	762	770
3,850	769	763	828	812	757	767	747	777

Как видно, величина насыпного веса угля не одинакова как по длине, так и по высоте в камере коксовой печи. Наибольший насыпной вес угля наблюдается в слоях на расстоянии 0,5 м от верха загрузки. В данном случае увеличение насыпного веса происходит за счет нажимных усилий планирующей угольную загрузку штанги. Не которое увеличение насыпного веса наблюдается также в самых нижних слоях угольной загрузки, что происходит по причине уплотнения шихты при падении из загрузочного вагона. На расстоянии 1,4 м от верха загрузки величина насыпного веса угля является наименьшей.

Известно, что уплотнение угольной шихты с помощью трамбования производится послойно при толщине слоев порядка 300 мм, при большей толщине слоя степень уплотнения уменьшается, так как давление, действующее на поверхность измельченного угля, постепенно расходуется на преодоление трения между его частицами.

Данные изменения насыпного веса угольной шихты в камере коксовой печи, приведенные в табл. 2, подтверждаются исследованиями других авторов, проводивших работы в этом направлении.

Исходя из этих обстоятельств, надо иметь в виду возможность благоприятного действия на угольную загрузку в камере коксовой печи по ее длине применения одного или двух добавочных планиров. Это мероприятие должно содействовать значительному уплотнению шихты и уравниванию ее насыпного веса. В результате должно последовать увеличение выхода кокса при использовании шихт определенного состава, а также возможность ввода для коксования больших количеств отощенных углей, без снижения качества получаемого кокса.

Последнее обстоятельство имеет особенно важное значение в связи с дефицитом коксовых и жирных углей, используемых для производства кокса.

Исходя из указанных соображений, нами была проведена работа по изучению уплотняющего эффекта коксовых шихт, с помощью определенных приемов. В проводимой работе было обращено особое внимание на выбор таких способов уплотнения коксовых шихт, которые не усложняли бы технологический процесс и вообще обслуживание коксовых установок.

Работа была проведена с моделью камеры коксовой печи, соответствующей камере печи ПК в горячем состоянии в 1/10 натуральной величины последней, т. е. имела следующие размеры: длина 1,25 м, ширина средняя 0,039 м, высота 0,31 м (рис. 1).

Модель камеры имела четыре загрузочных воронки, которые можно было опорожнять или одновременно, открывая один общий шибер, или выборочно, для чего каждая воронка была снабжена так же отдельным шибером. Разгрузка камеры печи производилась с помощью выдвигаемого затвора А, который служил

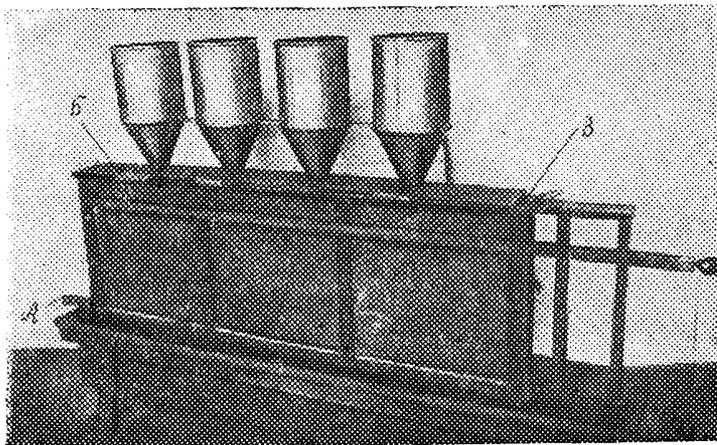


Рис. 1. Модель камеры коксовой печи 1/10 н. в. стр. А — Затвор для опорожнения камеры; Б — затворы у загрузочных воронок; В — общий затвор для всех воронок.

подом камеры печи. Выгружаемый уголь высыпался в ящик, расположенный непосредственно под подом печи, так же как и затвор А, по всей длине. Ящик также свободно выдвигался, поэтому взвешивание шихты, разгружаемой из камеры печи, производилось без всяких затруднений после каждого опыта.

При всех проводимых экспериментах шихта, предназначенная для загрузки в бункере, была подобрана по следующему ситовому составу:

Наименование сит	>3 мм	3—1,5 мм	1,5—0,5 мм	0,5—0 мм
Классы в %	20,0	21,0	34,0	25,0

Влажность шихты была 4,00 %.

При послойном планировании, производимом тремя планирами, каждый из которых был расположен на 1/3 высоты камеры печи, шихта загружалась в три приема.

В первый прием загрузка шихты производилась только на одну треть высоты печи, при одновременной частичной выгрузке всех четырех воронок.

Планир имел устройство в виде рейки с утюжками.

Вид распределения шихты после первого спуска на указанную высоту представлен на рис. 2¹⁾.

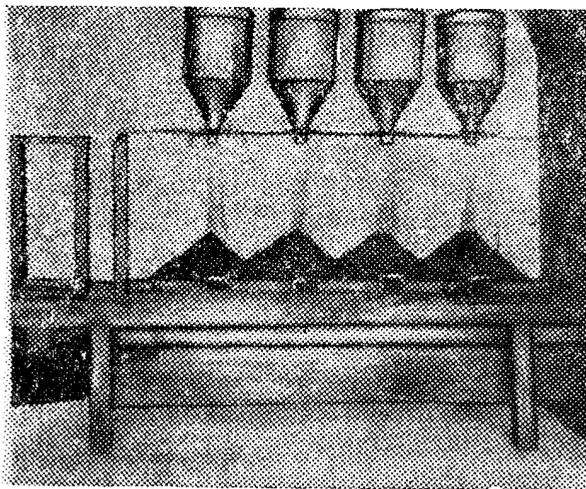


Рис. 2. Расположение шихты в камере после загрузки 1/3 шихты.

После первого спуска шихты производилось ее планирование в количестве от 3 до 9 движений. За каждое движение принимается ввод планира в печь и вывод его обратно. Затем производилась вторичная загрузка шихты в камеру печи уже на 2/3 ее высоты одновременно из 4 воронок, после чего следовало очередное планирование при том же количестве движений.

Общий вид расположения шихты после второго спуска ее показан на рис. 3.

¹⁾ Для наглядности распределения шихты в модели камеры ставилась стеклянная стенка.

В дальнейшем производилась окончательная загрузка камеры печи из всех воронок (рис. 4) и последнее планирование:

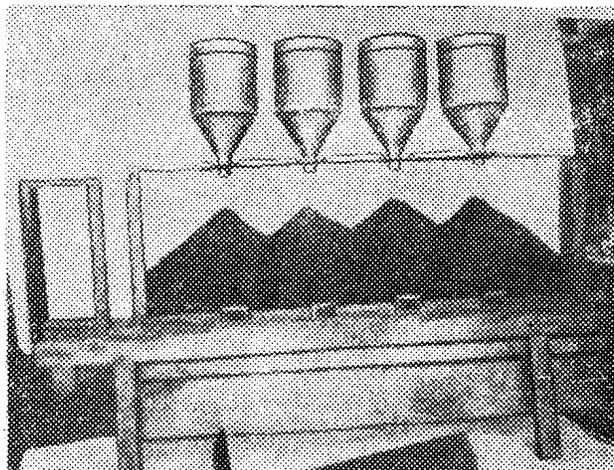


Рис. 3. Расположение шихты в камере после нижнего планирования и загрузки второй порции шихты.

Производилось также однократное (обычное) планирование одним верхним планиром после выгрузки всех четырех воронок до отказа. Изменение насыпного веса шихты в зависимости от способа планирования представлено в табл. 3.

Таблица 3

Способ планирования	Число движений планира	Насыпной вес шихты $кг\ м^3$	Увеличение насыпного веса по отношению к весу при однократном планировании, %
Верхний планир, однократное планирование	3	736	—
	5	738	—
	9	743	—
Средний и верхний планиры	3	753	2,3
	5	755	2,6
	9	772	3,9
Нижний, средний и верхний планиры	3	761	3,4
	5	767	3,9
	9	783	5,3

Как видно, число заходов планира существенно влияет на уплотнение шихты.

Принимая девять двойных движений за нормальное планирование, имеем при трех планирах увеличение насыпного веса шихты при прочих равных условиях на 5,3%.

Если насыпной вес шихты ($W=6\%$) в печах с планиром системы инженера Филиппова составляет примерно $760\ кг/м^3$, то при трех планирах, считая увеличение веса на 5,3%, он составит $806\ кг/м^3$.

Для того, чтобы учесть при этом увеличение выхода кокса, нужно считаться с технологическим периодом коксования, который, как известно, удлиняется с увеличением насыпного веса шихты.

Продолжительность периода коксования (Z час) в зависимости от объемного веса (i кг/м³) содержимого камеры, изменяющегося от со-

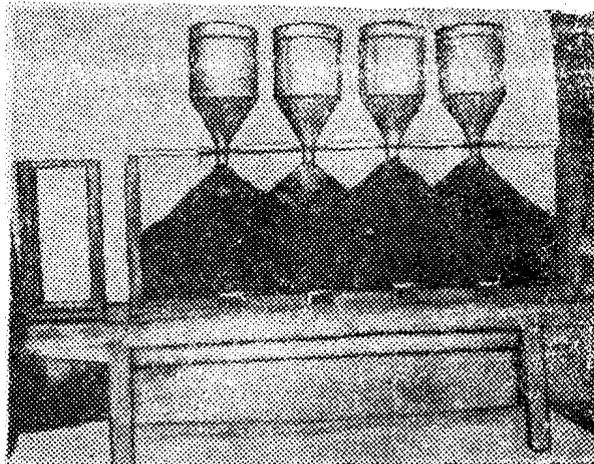


Рис. 4. Расположение шихты в камере после окончания загрузки и последнего планирования.

стояния угля до состояния кокса, может быть выражена таким образом:

$$Z = \psi i,$$

где $i = \frac{i \text{ уголь} + i \text{ кокс}}{2}$, а ψ есть величина, зависящая от ширины

печи, температуры, теплопроводности угля, кокса, нагревательной стенки и в данном случае остающаяся величиной постоянной.

Объемный вес кокса в камере может быть принят также постоянным и равным 950 кг/м³.

Для величины i имеем:

$$\text{при одном планире } i_1 = \frac{760 + 950}{2} = 855 \text{ кг/м}^3,$$

$$\text{при трех планирах } i_3 = \frac{806 + 950}{2} = 878 \text{ кг/м}^3.$$

Так как ψ в данном случае постоянно, то

$$\frac{Z_3}{Z_1} = \frac{i_3}{i_1}$$

Полагая Z_1 (при одном планире) = 14 часов, находим период коксования при трех планирах (Z_3):

$$Z_3 = \frac{Z_1 \times i_3}{i_1} = \frac{14 \times 878}{855} = 14,38 \text{ часа.}$$

Пусть полезный объем камеры печи будет 20,19 м³, а валовой выход кокса 75% от веса шихты, количество печей, выданных за сутки составит:

$$\text{при одном планире } \frac{24}{14} = 1,71 \text{ печи,}$$

$$\text{при трех планирах } \frac{24}{14,38} = 1,67 \text{ печи.}$$

Количество кокса на одну печь в сутки соответственно этому составит:

$$\text{при одном планире } \frac{20,19 \times 760 \times 0,75 \times 1,71}{1000} = 19,68 \text{ т,}$$

$$\text{при трех планирах } \frac{20,19 \times 806 \times 0,75 \times 1,67}{1000} = 20,38 \text{ т.}$$

Таким образом, производительность печей по валовому выходу кокса при тройном планировании увеличивается на 3,55 %.

Аналогичным расчетом можно определить, что при двух планирах среднем (2/3 высота от пода) и верхнем, при уплотнении шихты на 3,9 % увеличение выхода валового кокса составляет 2,39 %.

Как видно, при работе двух добавочных планиров эффект получается в полтора раза больше, чем при одном добавочном среднем планире.

Увеличение производительности коксовых печей по выходу кокса на 3,55 % при незначительном добавочном расходе энергии на работу добавочных планиров имеет серьезное значение; так, например, для завода с производительностью в 5000 т кокса в сутки прибавочное количество его составляет 177,5 т в сутки или 53250 т в год, в том числе примерно 50055 т металлургического; при цене последнего 120 руб. за тонну это дает в год 6 миллионов рублей добавочно.

Осуществление трехслойного планирования в практике не представляет затруднений и может быть выполнено либо путем установки двух дополнительных планирных штанг, по устройству аналогичных обычному планиру, либо в виде перемещающейся вверх и вниз рамы, несущей одну планирную штангу. Конструкция коксовыталькивателя допускает то и другое, но второй вариант, по-видимому, более удобен.

В настоящей работе вопросы конструктивного и монтажного порядка не рассматриваются.

По Справочнику¹⁾ коксохимика процесс обычного планирования в отношении времени протекает так:

- | | |
|--|---------|
| 1) взятие дверцы планирного люка на крюк лебедки | 10 сек, |
| 2) открывание планирного люка | 6 " , |
| 3) планирование | 90 " , |
| 4) закрытие планирного люка | 28 " , |

Всего: 134 сек.

Следовательно на него затрачивается очень мало времени, немного больше двух минут, и увеличение этого времени до 6—7 минут не должно вызвать затруднений; это может быть подтверждено и тем, что в практике бригады по загрузке работают по-разному и, делая хронометраж процесса планирования на некоторых заводах с секундометром в руках, мы нередко наблюдали значительно большее время, против того, которое указано выше, как нормальное.

Самый процесс планирования должен быть автоматизирован, как это осуществляется в коксовых цехах Запорожского и Ждановского заводов [11].

¹⁾ Справочник коксохимика, стр. 420, 1939.

Выводы

1. Увеличение насыпного веса угольной шихты в камере коксовой печи может быть достигнуто путем послойного планирования в процессе загрузки шихты без добавки каких-либо веществ, способствующих плотной упаковке зерен угля.

2. При послойном планировании достигается более равномерное распределение угля по высоте и длине печной камеры, что, в свою очередь, способствует получению кокса более равномерного качества.

3) Послойное планирование обуславливает увеличение производительности коксовых печей по коксу при прочих равных условиях. При трехслойном планировании это увеличение составляет до 3,55 %.

4. Поскольку планирование является кратковременным процессом и мощность мотора планира при его движении с помощью каната, навешивающегося на барабан, составляет 27—30 кв, расход энергии на добавочное планирование является ничтожным.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чижевский И. П. Кокс и химия, № 10, 1932.
2. Агроскин А. А., Загробельная В. С. Известия АН СССР, ОТН, № 1, 1947.
3. Журнал химической промышленности, № 5—6, 1910.
4. Агроскин А. А. и Питин Р. П. Известия АН СССР, ОТН, № 2, 1946.
5. Агроскин А. А. и Лоскутова Е. Н. Известия АН СССР, 1947.
6. Фельдман Я. и Мейксон Л. Кокс и химия, № 4, 1932.
7. Герцберг П. Л. Кокс и химия, № 5, 1935.
8. Справочник коксохимика, 4, 398. 1939, Научно-техн. из-во Украины.
9. Справочник коксохимика, 4, 339. 1939.
10. Справочник коксохимика, 4, 420, 1939.
11. Шварц Г. А. Кокс и химия, № 2, 1955.