

**ВЛИЯНИЕ КОКСОВОЙ МЕЛОЧИ НА
ПРОЧНОСТЬ И ВЫХОД КОКСА ПРИ
НАСЫПНОЙ И ТРАМБОВАННОЙ ЗАГРУЗКЕ
(Обзор)**

**EFFECT OF COKE FINES FOR STRENGTH AND
OUTPUT OF COKE IN BULK AND STAMPERED
LOADING (Review)**

© 2013 Кузниченко В.М., к.т.н., Малько Н.И.,
Кубрак С.С. (ГП «УХИИ»),
Кривонос В.В., к.т.н., Данилов А.Б.,
Соловьев М.А., к.т.н., Демченко В.А.
(ПАО «АЛЧЕВСККОКС»)

Kuznichenko V.M., PhD in technical sciences,
Malko N.I., Kubrak S.S. (SE "UKHIN"),
Krivonos V.V., PhD in technical sciences,
Danilov A.B., Soloviev M.A., PhD in technical sciences,
Demchenko V.A. (PJSC "ALCHEVSKKOKS")

Выполнен аналитический обзор результатов проведенных в полупромышленных и промышленных условиях коксований угольных шихт с участием в них различных количеств добавок коксовой мелочи разной крупности, а также добавок коксовой пыли УСТК.

An analytical review have been performed of the results of the coking of coal blends in the semi-industrial and industrial conditions with the participation of various amounts of additives of coke fines of different sizes, as well as with addition of coke dust from Coke Dry Coling Plant (CDCP).

Ключевые слова: коксовая мелочь, коксовая пыль УСТК, измельчение, способ, уровень, угольная шихта, условия коксования, качество кокса, выход кокса.

Keywords: coke fines, coke dust from CDCP, grinding, method, level, coal blend, coking conditions, the quality of coke, coke yield.

Необходимость ввода коксовой мелочи (КМ) крупностью < 10 мм в шихту для коксования обусловлено зачастую отсутствием возможности сбыта КМ как товарного продукта. При введении КМ в шихту она становится возвратным продуктом. Поскольку КМ в несколько раз дешевле доменного, а тем более, – литейного кокса, ее целесообразно превращать в дорогостоящий крупнокусковой (металлургический) кокс при определенной ее предварительной подготовке. Кроме того, этим продуктом можно было бы частично компенсировать дефицит отощенно-спекающихся углей, наличие которых в шихте является необходимым.

Исследования по вводу в шихту для коксования КМ проводились еще в 30-х годах прошлого столетия. Выполнялись ящичные (трамбованная и насыпная загрузка) и опытные промышленные (насыпная загрузка) коксования с введением в шихты от 2,5 до 10,0 % КМ (в то время класс крупности ≤ 15 мм). КМ вводили как в исходном виде вместе с углями в дробилку (дезинтегратор), так и предварительно измельченную в валковой мельнице до содержания класса (кл.) ≤ 1 мм на уровне ~ 80 % [1-3]. Было установлено, что эффективность дробления КМ в дезинтеграторе незначительна. При этом фактору крупности измельчения КМ придавалось важное значение и высказывалось мнение, что она должна содержать 80-90 % кл. ≤ 1 мм при 100 % кл. ≤ 2 мм. Для исследований были использованы две шихты, применяемые для производства кокса при насыпной загрузке печей. Шихты авторами характеризовались только данными технического анализа. Выход летучих веществ (V^d) шихт составлял 20,4 и 23,3 %, т.е. был очень низок по сравнению с современными шихтами. Предположительно, спекаемость шихт была достаточно высокой.

Полученные данные по коксованию насыпных и трамбованных шихт с участием 5 % КМ [2, 3] в немолотом виде показывают, что при этом резко снижается прочность кокса, определяемая в барабане Сундгрена – остаток в барабане снижается с 300-360 кг до 205-305 кг. Примерно такие же результаты получены при добавке 10 % КМ, предварительно измельченной в валковой мельнице. При добавке 5 % измельченной КМ в шихты двух заводов прочность коксов по Сундгрена не изменилась, а в шихты двух других заводов – снизилась на 20-26 кг. При трамбовании этих шихт и добавке 5 % молотой КМ произошло снижение прочности кокса на 10-25 кг на всех четырех заводах. Отмечается увеличение выхода КМ в валовом коксе и увеличение выхода валового кокса от шихты на 0,5-0,7 % при 5 % добавки КМ. Установлено, что «трамбование не оказывает заметного влияния на снижение выхода КМ от валового кокса». На основании полученных результатов авторы утверждают, что 3 %-я добавка измельченной в валковой мельнице КМ «допустима» для всех испытанных шихт, а для некоторых шихт этот предел может быть повышен до 5 %. Поэтому КМ должна быть возвращена в процессе коксования, как добавка к шихте. Практическое решение этой задачи авторами упомянутых работ оценивается как достаточно легкое.

На Харьковском КХЗ были прококсованы загружаемые насыпью шихты из донецких углей с добавкой 5 % КМ (сверх шихты, т.е. от общей массы загрузки) и без добавки. КМ измельчали до 100 % содержания кл. ≤ 2 мм [4]. Результаты коксований приведены в табл. 1. Условия коксования: период коксования – 14 ч, температура в контрольном вертикале с коксовой стороны – 1350 °С.

Таблица 1

Качество кокса из опытных шихт

Характеристика шихт									Качество кокса			
Марочный состав, %					Технический анализ, %				Содержание кл. крупности, %		Прочность в барабане Судгрена, кг	
Г	Ж	К	ОС	КМ	W_t^r	A^d	V^{daf}	S_t^d	≥ 80	≥ 60	оста-ток	≤ 10 мм
10	45	25	20	-	9,1	6,8	25,4	2,11	18,6	59,0	345,2	20,5
10	58	25	7	5	8,9	7,2	27,4	2,17	32,7	68,2	338,3	28,4

Р.Луазон с соавторами [5] приводит результаты опытов по введению до 9 % КМ в шихты, загружаемые насыпью и до 10 % – в трамбованные шихты. При этом КМ (кл. ≤ 10 мм) подвергали более тонкому измельчению, чем в опытах, описанных выше. Содержание кл. $\leq 0,5$ мм составляло 90 % при содержании кл. $\leq 0,2$ мм – 80 %. К сожалению угли, использованные авторами [5] для составления шихт, охарактеризованы в работе только поверхностно: «пламенный жирный», «жирный», «3/4 жирный», «коксовый жирный», что не дает полного представления о влиянии КМ на прочность кокса из шихт различной спекаемости. Показано, что добавление КМ как в насыпные, так и в трамбованные шихты, приводит к существенному укрупнению кокса, повышению прочности кокса на дробимость и снижению на истираемость. Так, показатель M_{40} при введении 9 % КМ в «жирную» насыпную шихту возрос с 77 до 85 %, показатель M_{10} незначительно изменился – возрос с 8,5 до 8,7 %. При введении этого же количества КМ в шихту «средней спекаемости» показатель M_{40} возрос аналогично – с 78 до 85 %, а показатель M_{10} , в отличие от «жирной» шихты, существенно увеличился – с 8,0 до 9,8 %. Основное повышение крупности кокса (выход кл. ≥ 40 мм) происходит при добавке КМ в количестве 6 % и составляет около 5 % для обеих шихт.

В трамбованную шихту, из которой без КМ получают кокс с показателями M_{40} – 68 % и M_{10} – 5,9 %, добавляли КМ в количестве до 10 %. При этом показатель M_{40} резко возрос – с 68 до 84 %, а показатель M_{10} возрос незначительно – с 5,9 до 6,2 %. Крупность кокса по содержанию кл. ≥ 40 мм возросла на 10 % – с 81,5 до 91,5 %. Т.о., влияние КМ на прочность и крупность кокса при введении этой добавки в весьма жирную насыпную шихту и в обычную шихту для трамбования практически идентично. Тем не менее, авторы считают нецелесообразным использование КМ в шихтах, загружаемых насыпью при производстве доменного кокса, и целесообразным – при производстве литейного кокса, истираемости которого придадут меньшее

значение. Для трамбованных шихт добавление КМ авторы считают обязательным, т.к. «применение процесса трамбования эффективно улучшает показатель M_{10} , но не показатель M_{40} ».

Тонкоизмельченная КМ широко используется в ФРГ в шихтах для трамбования [6-10]. При производстве доменного кокса ее содержание в шихтах составляет 5 %.

Для измельчения КМ на заводе ЦКС в г. Диллингене используют шаровую мельницу производительностью 20 т/ч сухой коксовой мелочи. Мельница имеет длину 7 м и диаметр 3 м. В ней осуществляется сушка КМ до ~ 1 % влажности и измельчение металлическими шарами при степени заполнения 27 %. Общая масса шаров – 55 т, диаметр шаров – 80 мм, скорость вращения барабана – $0,3 \text{ с}^{-1}$. Удельный расход электроэнергии – 30 кВт·ч/т. Потребность энергии для сушки дымовыми газами – 18 ГДж/ч. Гранулометрический состав КМ – 100 % кл. $\leq 0,75$ мм, в т.ч. 98 % кл. $\leq 0,25$ мм; 80 % кл. $\leq 0,09$ мм. Удельная поверхность пыли – около $3400 \text{ см}^2/\text{г}$; насыпная плотность – $0,85 \text{ т}/\text{м}^3$. Транспортировка пыли в накопительный бункер осуществляется при помощи сжатого воздуха: давление воздуха 0,3 МПа; расход – $45 \text{ м}^3/\text{т}$ материала. Бункер рассчитан на четырехсуточный запас КМ [10].

Ласк Г.В. и др. [9] при разработке процесса коксования термopодготовленных трамбованных шихт проводили исследования влажных трамбованных шихт с добавкой 6 % нефтяного связующего и 5 % КМ, измельченной в шаровой мельнице. Опытная шихта характеризовалась следующими показателями: индекс свободного вспучивания $SI = 1$; дилатация $D = -23$ %, $V^d = 30,5$ %. При коксовании этой шихты в полупромышленной печи без добавки КМ был получен кокс со следующими показателями: содержание кл. +80 мм – 61,8 %; M_{40} – 66,2 %; M_{10} – 13,8 %; а с добавкой 5 % КМ значения этих показателей составили соответственно 69,3; 74,1 и 16,7 %. Т.о. крупность, прочность кокса по сопротивлению дробимости (M_{40}) и его истираемость (M_{10}) повышается.

Эхтергофф J. и др. [10] в промышленных условиях коксовали две опытные трамбованные шихты – менее спекающуюся без КМ и повышенной спекаемости – с 5

% КМ, измельченной в шаровой мельнице. Характеристика шихт и качества кокса приведены в табл. 2.

Таблица 2

Качество кокса из опытных трамбованных шихт

Вариант шихты	Характеристика шихт				Качество кокса			
	V ^{daf} , %	SI	D, %	содержание КМ, %	содержание класса крупности (мм), %		механическая прочность, %	
					≥60	≤25	M ₄₀	M ₁₀
1	31,0	4,0	-13	-	19,5	7,1	73,0	5,6
2	32,2	6,5	+13	5	46,0	8,7	76,4	6,2

Из данных таблицы видно, что введение 5 % КМ в шихту (несмотря на повышенную спекаемость последней) привело к резкому увеличению крупности кокса, умеренному повышению показателя M₄₀ и заметному увеличению показателя M₁₀. Содержание кл. ≤ 25 мм в валовом коксе существенно повысилось.

При разработке марочного состава шихты для внедрения технологии трамбования на Алчевском КХЗ угли сырьевой базы этого завода были отправлены в ЧССР. Опытные коксования трамбованных шихт (в т.ч. с участием КМ) проводили на п'ятисоткилограммовой печи ИИНГКГ (г. Острава) [11]. Характеристика шихт и качества кокса приведены в табл. 3.

Таблица 3

Качество кокса из опытных трамбованных шихт

№№п/п	Характеристика шихт				Качество кокса			
	V ^{daf} , %	SI	D, %	содержание КМ, %	содержание класса крупности (мм), %		механическая прочность, %	
					≥ 60	≤ 25	M ₂₅	M ₁₀
1	30,8	3,5	22	-	44,5	11,6	89,0	7,2
2	29,4	2,0	21	5 (≤1 мм)	62,8	15,2	86,0	12,7
3	31,8	4,5	26	7 (≤0,2 мм)	65,8	11,1	89,2	9,1

Как видно из полученных данных, увеличение содержания КМ в шихте увеличивает крупность кокса. Чем больше крупность КМ, тем больше ее отрицательное влияние на прочность кокса.

Дальнейшие исследования по влиянию КМ на качество кокса поведилось только с шихтами, загружаемыми в печи насыпью. Так, на Криворожском КХЗ проводились полупромышленные (трехсоткилограммовая печь) эксперименты по получению различных видов кокса из угольных шихт с участием КМ [12]. В шихту (марочный состав, %: Г – 45; Ж – 30; К – 10; ОС – 15) вводили 7 % КМ крупностью ≤ 10; ≤ 1 и ≤ 0,5 мм. Конечная температура коксования составляла 950 °С; температура в обогревательных простенках – 1200 °С. Было показано, что добавка 7 % КМ кл. ≤ 10 мм без специальной подготовки существенно ухудшает (на 5,1 %) показатель прочности кокса M₂₅, при этом почти вдвое ухудшается показатель M₁₀ и втрое увеличивается содержание в коксе кл. ≥ 80 мм. Снижение крупности КМ до ≤ 1 и ≤ 0,5 мм в меньшей степени ухудшает прочность кокса. Выход валового кокса от шихты увеличивается на 0,7 % на каждый процент добавки КМ. На основании результатов исследований авторы делают вывод, что применяя дополнительное измельчение КМ и брикетирование части (около 20 %) шихты с КМ с введением около 8 % связующего

(попутные продукты химических цехов) можно получить положительный экономический эффект при использовании 1-2 % КМ при производстве доменного кокса и 3-4 % КМ – при производстве литейного. Введение в шихту большего количества КМ при производстве литейного кокса объясняется менее строгими требованиями к его истираемости по сравнению с доменным.

Кафтаном Ю.С. и Шульгой И.В. также были проведены достаточно обширные исследования по введению КМ в шихты для коксования, загружаемые насыпью [13-14]. Вначале опыты проводили на промышленных печах (высотой 7 м) бат. № 1 бис ОАО «Маркохим» [13]. При подаче КМ, содержащей 42,4 % кл. +10 мм и 29,2 % кл. ≤ 3 мм, в дробилку вместе с углями в количестве 2 % сверх шихты было установлено, что при этом содержание кл. +10 мм КМ снижается до 8,5 %, а кл. ≤ 3 мм увеличивается до 41,7 %. После повторного измельчения в промышленной дробилке в смеси с газовым углем содержание кл. ≤ 3 мм в КМ увеличилось до 50,2 %. Анализ свойств кокса из шихты с 2 % КМ показал, что показатель M₂₅ не соответствовал ТУ и составил 81,2 %, M₁₀ – 8,1 %. Выход доменного кокса от валового составил 88,5 %, орешка – 6,3 %, мелочи ≤ 10 мм – 5,2 %, тогда как до введения КМ эти показатели составляли,

соответственно, 92,4; 2,0 и 5,6 %. Содержание кл. +80 мм в коксе составило 7,5 %.

На следующем этапе были проведены лабораторные коксования в двухкамерной печи УХИНа с односторонним нагревом коксуемой загрузки. Коксованиям подвергали шесть вариантов шихт с добавкой 2 и 5 % КМ, измельченной до 100 % кл. ≤ 3 мм. При добавке 2 % КМ показатели P_{40} и P_{25} снизились приблизительно на 5 %, а при добавке 5 % КМ – на 7-9 %. Показатель I_{10} повысился соответственно на 2,5-3,0 % и на 7-10 % (т.е. вдвое). Выход валового кокса от шихты увеличивался на 0,24-0,30 % на каждый процент добавляемой КМ. В другой серии лабораторных опытов по коксованию шихт с добавкой КМ, измельченной до 100 % кл. ≤ 3 мм, было установлено, что при введении

КМ в количестве ≤ 3 % показатель M_{25} снижается в среднем на 2,5 %, а M_{10} увеличивается в среднем на 1,8 % на каждый процент КМ, вводимой в шихту.

Японские исследователи [15] также изучали влияние КМ разной крупности на механическую прочность кокса. Опыты проводили в полупромышленной печи (масса загрузки – 250 кг). Спекаемость шихты характеризовали по R_0 (1,10 %) и максимальной текучести по Гизелеру ($\log MF = 2,6$ делений шкалы/мин). Количество вводимой в шихту КМ составляло 3 %.

Было установлено, что при повышении крупности КМ ее отрицательное действие на механическую прочность кокса увеличивается. Полученные данные представлены в табл. 4.

Таблица 4

Влияние крупности КМ на качество кокса при ее содержании в шихте 3 %

Шихта	Показатели качества кокса	
	Механическая прочность $DI\ 150^{*})$, %	Средняя крупность, мм
Базовая	77	70
С КМ кл. 0,075-0,149 мм	78	80
С КМ кл. 0,300-0,500 мм	74	85
С КМ кл. 0,710-1,000 мм	67	93

*⁾ Выход кокса кл. ≥ 15 мм после 150 оборотов барабана диаметром 1,5 м в течение 10 мин.

Дальнейшие исследования касаются введения в насыпную шихту коксовой пыли УСТК, являющейся мелкодисперсным продуктом, не требующим измельчения. Авторами [16, 17] были проведены ящичные коксования производственной шихты с добавкой 3,5 и 7 % КП на бат. №5 ОАО «КОКС» (г. Кемерово). При внесении в шихту 7 % КП содержание в коксе кл. +80 мм возросло с 23,7 до 65,0 %; кл. ≤ 25 мм – с 2,8 до 4,8 %; показатель прочности кокса M_{40} возрос с 72,4 до 79,8 %; M_{10} – с 8,0 до 15,5 %; а показатель M_{25} снизился с 89,3 до 82,3 %. Показатели горячей прочности также резко ухудшились: CSR снизился с 57,6 до 10,2 %; а CRI возрос с 34,8 до 45,4 %.

Была сооружена установка для подачи КП УСТК в шихту и проведены серийные промышленные коксования с добавкой к шихте 1 % КП. Кратковременные серийные коксования показали, что качество кокса осталось неизменным.

В.М.Страхов и др. [18] проводили промышленные исследования влияния КП УСТК на качество литейного кокса при традиционной загрузке коксовых печей (насыпью). КП дозировали в шихту в количестве 3 %. Характеристика промышленной шихты Алтайского КХЗ для производства литейного кокса без КП и с введением 3 % КП УСТК приведена в табл. 5.

Таблица 5

Характеристика опытных шихт

Шихта	Технический анализ, %			Пластометрия, мм		RI	Насыпная плотность γ , г/см ³
	W	A ^d	V ^{daf}	x	y		
Исходная	8,1	8,3	28,4	37	15	23,6	0,755
С 3 % КП УСТК	8,3	8,5	27,8	36	15	36,5	0,749

С введением 3 % КП в шихту зольность последней увеличилась на 0,2 %, V^{daf} снизился на 0,6 %, у не изменился, RI существенно повысился, насыпная плотность несколько снизилась. Коксования проводили на бат. №1 и №2 с высотой камер печей 7 м и с полезным объемом камеры 41,6 м³. Период коксования составлял 14 ч 40 мин; температура в контрольных вертикалах с машинной и коксовой стороны, °С – соответственно 1300 и 1340.

В валовом коксе содержание кл. +80 мм увеличилось с 10,4 до 22,0 %; кл. +60 – с 40,7 до 56,5 %. В товарном коксе изменения содержания этих классов крупности менее выражены: содержание кл.+80 возросло на 5,4 % (с 9,6 до 15,0 %); кл. +60 – на 9,0 % (с 50,4 до 59,4 %).

Несколько увеличился показатель M_{40} (с 73,2 до 73,9 %) и заметно возрос показатель M_{10} (с 9,3 до 9,7 %). Зольность кокса увеличилась на 0,2 %. Физико-химические свойства изменились следующим образом: реакционная способность по ГОСТ 10089-89 снизилась с 0,68 до 0,50 см³/г·с; повысились действительная плотность (с 1,883 до 1,905 г/см³) и кажущаяся плотность (с 1,033 до 1,075 г/см³); структурная прочность не изменилась, пористость снизилась с 45,1 до 43,6 %.

Выводы

1. Многочисленными исследованиями, проводившимися на протяжении около 80 лет доказано, что, чем крупнее помол КМ, тем больше его отрицательное влияние на механическую прочность кокса. Окончательные выводы о необходимой (оптимальной) крупности КМ при введении ее в насыпные и трамбованные шихты различной спекаемости в литературных источниках отсутствуют.

2. Данные об оптимальном количестве введения КМ в насыпные и трамбованные шихты противоречивы; рекомендуемые различными авторами значения этого показателя колеблются в пределах от 1 до 9 %. При этом установлено, что введение КМ в трамбованные шихты более целесообразно, чем в шихты, загружаемые в печи насыпью.

3. Данные о влиянии КМ на выход валового кокса от шихты также разноречивы и находятся в пределах от 0,24 до 0,7 % на каждый процент вводимой в шихту КМ.

4. Измельчение КМ в промышленных молотковых дробилках вместе с потоком углей неэффективно. Для ее предварительного измельчения при введении в шихту ранее рекомендовали валковые мельницы, позднее – шаровые.

Библиографический список

1. Крым В.С. К вопросу об использовании коксовой мелочи в качестве компонента коксовой шихты / В.С. Крым, С.Ю. Елович // Кокс и химия. – 1932. – № 5-6. – С. 36-40.
2. Фельдман Я. Использование коксовой мелочи в качестве добавки к коксуемым углям / Я. Фельдман, Л. Мейксон // Кокс и химия. – 1932. – №5-6. – С. 22-27.
3. Ануров С.А. Подбор и составление угольных шихт для коксования / С.А. Ануров, Я.М. Обуховский. – Харьков – Москва: «Металлургиздат», 1940. – 384 с.
4. Тайц Е.М. Свойства каменных углей и процесс образования кокса / Ефим Моисеевич Тайц. – М.: Metallurgizdat, 1961. – 300 с.
5. Луазон Р. Кокс / Р. Луазон, П. Фош, А. Буайе. – М.: Metallurgiya, 1975. – 520 с.
6. Браун Н.В. Трамбование угольной шихты и перспективы его использования в СССР / Н.В. Браун, Ю.С. Васильев и В.М. Кузниченко // Кокс и химия. – 1987. – № 4. – С. 5-8.
7. Тайц Е.М. О производстве кокса из трамбованных шихт / Е.М. Тайц и Д.А. Цикарев // Кокс и химия. – 1979. – № 12. – С. 50-52.
8. Splichal V. Současne možnosti rozšíreni uhelne zakladny pro výrobu metalurgickeho koksu v ČSSR / V. Splichal, J. Stepanek // Hutnicke listy. – 1979. – № 4. – S. 228-231.
9. Ласк Г.В. Расширение сырьевой базы коксования / Г.В. Ласк, Х. Петап, Ю. Эхтергоф // Черные металлы. – 1981. – № 20. – С. 7-12
10. Цикарев Д.А. Производство доменного кокса с предварительным трамбованием загрузки коксовых печей и утилизацией рециркулирующей коксовой мелочи / Дмитрий Александрович Цикарев // Кокс и химия. – 1993. – № 11-12. – С. 30-32.
11. Браун Н.В. Полупромышленные испытания трамбованных шихт из донецких углей / Н.В. Браун, Ю.С. Васильев, В.М. Кузниченко [и др.] // Кокс и химия. – 1988. – № 3. – С. 16-19.
12. Торяник Э.И. Получение различных видов кокса из угольных шихт с участием коксовой мелочи / Э.И. Торяник, А.Г. Дюканов, Ю.И. Гречко и др. // Кокс и химия. – 1995. – № 4. – С. 11-13.
13. Кафтан Ю.С. К вопросу использования коксовой мелочи в составе угольных шихт / Ю.С. Кафтан, И.В. Шульга, Ю.В.Телешев [и др.] // Углекимический журнал. – 2000. – № 3-4. – С. 6-10.
14. Кафтан Ю.С. Свойства кокса из угольных шихт с различными добавками / Ю.С. Кафтан, И.В. Шульга, Е.В. Миненко [и др.] // Кокс и химия. – 2000. – № 6. – С. 13-19.
15. Fukada K. Influence of inert Materials on Contractile Behavior and Fissure Formation of Coke / K. Fukada, T. Yamamoto, J. Shimoyama [et al.] // Tetsu – to – Hagane. Journal of the Iron and Steel Institute of Japan. – 2007. – 93. – № 6. – P. 438-444.
16. Тихов С.Д. Коксовая пыль как компонент угольной шихты / С.Д. Тихов, А.В. Березин, П.Д. Нагибин [и др.] // Кокс и химия. – 2004. – № 2. – С. 10-13.
17. Швед В.С. Коксовая пыль как компонент угольной шихты / В.С. Швед, А.В. Березин // Кокс и химия. – 2009. – № 5. – С. 19-21.
18. Страхов В.М. Получение литейного кокса из угольной шихты с участием коксовой пыли УСТК / В.М. Страхов, О.Г. Унтербергер, В.В. Кочкин [и др.] // Кокс и химия. – 1994. – № 11. – С. 14-17.