

А.А. АГРОСКИН. А.К. ШЕЛКОВ

РАСШИРЕНИЕ
УГОЛЬНОЙ БАЗЫ
КОКСОВАНИЯ

МЕТАЛЛУРГИЗАТ — 1962

35.51

А. А. АГРОСКИН, А. К. ШЕЛКОВ

РАСШИРЕНИЕ УГОЛЬНОЙ БАЗЫ КОКСОВАНИЯ

150068

ADIS SCIP TERMINI...
Kef. No 7066
150068



ГОСУДАРСТВЕННОЕ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
ЛИТЕРАТУРЫ ПО ЧЕРНОЙ И ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

Москва 1962

~~ОБХОНДЫНСКАЯ
СЕДЕНЬ ИОТЕКА
ИМ. ГОР~~

АННОТАЦИЯ

Расширение угольной базы коксования является важнейшей народнохозяйственной задачей. В книге критически рассматриваются различные методы расширения ассортимента углей, используемых для коксования, и оцениваются пути их применения в основных угольно-металлургических районах СССР.

Книга предназначена для научных и инженерно-технических работников коксохимической промышленности, а также может быть использована студентами металлургических и горных вузов.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	5
Глава I. Классификация методов расширения угольной базы коксования	7
Глава II. Изменение параметров коксования	11
1. Увеличение скорости коксования	11
Коксование в узких камерах	12
Коксование в тонком слое на движущемся поде	14
Коксование с переменной скоростью нагрева	19
2. Коксование под давлением	22
Глава III. Введение в шихту различных добавок	24
1. Добавление веществ, улучшающих спекаемость	24
2. Добавление отошающих веществ	26
Добавление бурого угля	27
Добавление полукокса, кокса и антрацита	30
Добавление железной руды	37
Глава IV. Улучшение технологии подготовки углей	45
1. Обогащение углей	45
2. Усреднение углей	48
3. Увеличение насыпного веса углей	50
Влияние различных факторов на величину насыпного веса	50
Механические методы увеличения насыпного веса	82
Смачивание угля микродобавками углеводородных жидкостей	98
Добавление в шихту извести	112
4. Дробление углей	119
Ситовый и петрографический состав углей	119
Избирательное дробление	127
Дифференцированное дробление	144
Глава V. Предварительное брикетирование перед коксованием	147
1. Брикетирование без связующего, коксование	149
2. Смешение со связующим, брикетирование, коксование	166
Процесс NFC	175
Процесс Иенсена (предварительное брикетирование со связующим, электрококсование)	182
Добавление железной руды и связующего, брикетирование, коксование	185
Глава VI. Предварительная термообработка перед коксованием	188
1. Быстрый нагрев, коксование	188
2. Быстрый нагрев, брикетирование в пластическом состоянии, прокатка	200
Способ «Коул-Логс»	205
Способ Института горючих ископаемых Академии наук СССР	209
Глава VII. Предварительная термообработка и брикетирование перед коксованием	214
1. Термобрикетирование, коксование	215

Обработка органическими жидкостями, термобрикетирование	217
2. Термообработка, смешение со связующим, брикетирование, коксование	218
Процесс Дидье	221
Процесс Угольного института Японии	224
Процесс Баумко	226
Глава VIII. Окускование смесей руды, топлива и флюса	236
1. Брикетирование	236
2. Гранулирование	242
Гранулирование с обжигом гранул	242
Химико-каталитическое гранулирование	243
Глава IX. Расширение угольной базы коксования в Донецком бассейне	248
1. Современное состояние угольной базы коксования и проведенные исследования	248
2. Перспективы расширения угольной базы коксования	263
Глава X. Расширение угольной базы коксования на Востоке	267
Заключение	282
Литература	289

ВВЕДЕНИЕ

В докладе о Программе Коммунистической партии Советского Союза на XXII съезде КПСС Н. С. Хрущев указал, что за 20 лет производство всех видов топлива возрастет примерно в 4 раза.

Расширение угольной базы коксования — серьезная народнохозяйственная проблема, решение которой позволит значительно увеличить мощности нашей коксохимической промышленности и черной металлургии в целом.

Преобладающую часть запасов основных бассейнов нашей страны составляют газовые угли марки Г и слабоспекающиеся угли других марок, которые используются для коксования лишь в количестве до 15—20% в смесях с углями марок К, Ж и ОС. Между тем по условиям залегания и степени вскрытия пластов добыча газовых и слабоспекающихся углей может быть в ближайшее время резко увеличена.

В Советском Союзе проведены и проводятся большие работы по расширению ресурсов коксующихся углей. Достаточно сказать, что в составе шихт южных коксохимических заводов в 1933 г. было 0,1% газовых углей, в 1940 г. их участие возросло до 7,9%, а в 1960 г. до 23,5%. Это, конечно, не является пределом. Вопрос о большем использовании газовых углей для коксования продолжает оставаться весьма важным и актуальным.

По данным УХИНа, предположительный средний состав шихт для коксования из донецких углей к 1975 г. может быть следующим: Г — 27%, Ж — 35%, К — 20%, ОС — 18%. В шихтах крупных заводов участие газовых углей может составить 30% и более.

Использование в шихтах большего количества газовых и длиннопламенных углей является одним из путей существенного увеличения выходов ценных химических продуктов коксования.

Различие в выходах смолы, сырого бензола и газа из газовых углей по сравнению с выходами химических продуктов из углей других марок, по данным Ю. Б. Тютюнникова и В. И. Дорненко, характеризуется данными, приведенными в табл. 1.

Газовые и длиннопламенные угли особенно широко распространены на востоке страны. Поэтому в этих районах было бы наиболее рационально организовать производство химических

Таблица 1

ВЫХОД ХИМИЧЕСКИХ ПРОДУКТОВ, %

Продукты	Марки угля			
	Г	Ж	К	ОС
Смола	4,83	4,41	3,07	1,85
Бензол сырой	1,37	1,05	0,80	0,38
Газ	14,74	13,00	10,85	9,90

продуктов на базе коксования угля. Поскольку обычные методы коксования не позволяют получить удовлетворительный кокс из малометаморфизованных углей, именно на востоке СССР особенно перспективно применение новой технологии коксования. Следует подчеркнуть, что в Восточной Сибири находится почти 80% общих геологических запасов углей Советского Союза, но здесь преобладают угли газовые и слабоспекающиеся.

Для расширения угольной базы коксования большое значение имеют прежде всего мероприятия по расширению добычи углей, пригодных для коксования как в уже освоенных, так и в новых угольных районах. Необходимо всемерное развитие геологоразведочных работ для расширения границ угленосных районов в уже освоенных бассейнах, для разведки дефицитных для коксования углей, главным образом в районах восточнее Кузнецкого бассейна.

Несоответствие запасов газовых и слабоспекающихся углей их использованию для производства металлургического кокса объясняется в основном принципиальными недостатками современной технологии коксования, основанной на применении камерных печей периодического действия: в современных коксовых печах все стадии процесса коксования протекают одновременно и не поддаются отдельному управлению.

В данной работе рассмотрены возможности расширения сырьевой базы коксования преимущественно вследствие применения газовых, длиннопламенных и бурых углей.

Особое внимание уделяется описанию и оценке методов, с точки зрения авторов, наиболее эффективных в наших условиях: подготовке углей дроблением, повышению насыпного веса шихты, введению в шихту различных добавок и т. д.

Авторы приносят благодарность докт. техн. наук проф. А. С. Бруку и канд. техн. наук Я. М. Обуховскому за ценные замечания, сделанные ими при чтении рукописи.

Глава I

КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ РАСШИРЕНИЯ УГОЛЬНОЙ БАЗЫ КОКСОВАНИЯ

В связи с большим количеством предложенных в последнее время методов расширения угольной базы коксования весьма важной является классификация этих методов по определенным признакам с тем, чтобы оценить их положительные качества или недостатки.

Один из вариантов классификации методов расширения угольной базы коксования был успешно разработан Барбу [138]. Нами разработана классификация, основанная на признаке типового сходства технологических процессов.

Поскольку вследствие методических трудностей не удалось провести классификацию строго по технологическим признакам, нами принята комбинированная схема классификации, построенная в основном на свойствах процесса и сырьевом признаке. Такая классификация и обобщение физико-химических закономерностей, лежащих в основе различных групп технологических процессов, облегчают возможность разного рода критических сопоставлений.

Все методы расширения ассортимента углей для коксования составляют две большие группы: методы с предварительной термообработкой углей перед коксованием и методы, не требующие таковой. В свою очередь, методы второй группы можно разделить на методы, требующие предварительного брикетирования, и методы, в которых предварительное брикетирование не предусмотрено. Аналогичным путем разделяются и методы, предусматривающие предварительную термообработку. Затем методы, требующие предварительного брикетирования, могут быть разделены на методы с применением и без применения связующих добавок. Внутри каждой из этих групп можно практически разместить все предложенные методы расширения гаммы углей для коксования.

Методы, не требующие ни предварительного брикетирования, ни термообработки, как правило, не предусматривают радикального изменения существующей технологии коксования, в эту группу входят такие методы, как коксование с повышенной ско-

Таблица 2

КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ РАСШИРЕНИЯ УГОЛЬНОЙ БАЗЫ КОКСОВАНИЯ

Без предварительной термообработки перед коксованием		С предварительной термообработкой перед коксованием	
Введение в шихту различных добавок	Улучшение и изменение технологии подготовки шихты	Предварительное брикетирование	Предварительная термообработка брикетирования
Добавление связующих веществ	Улучшение усреднения шихты	Брикетирование без связующего, коксование	Быстрый нагрев, коксование
Добавление каменноугольной смолы и пека	Повышение насыпного веса шихты	Смешение со связующими, брикетирование, коксование	Быстрый нагрев, формирование в пластическом состоянии, коксование
Добавление различных отходов	Подготовка углей дроблением	Смешение с железной рудой и связующим, брикетирование, коксование	
Добавление окшотщастей	Петрографическое обогащение		
Добавление бурого угля			
Добавление полукокса и кокса			
Добавление железной руды			
Воздействие на параметры коксования			
Коксование с повышенной скоростью			Термобрикетирование, коксование
Коксование под повышенным давлением			Термообработка, смешение со связующим, брикетирование, коксование

ростью, переработка шихт с увеличенным насыпным весом, избирательное дробление углей и т. д.

Предлагаемая нами классификация, в некоторой степени условная, представлена в табл. 2. В дальнейшем материал излагается в соответствии с этой классификацией.

Следует также проводить разработку и других схем классификации методов расширения угольной базы коксования. Такие схемы могут быть составлены следующими путями:

1. По признаку характеристики исходного сырья:

а) малометаморфизованные угли с выходом летучих 35—40%;

б) плохоспекающиеся угли с выходом летучих от 0 до 18%.

2. По количеству стадий процесса:

а) одноступенчатые процессы — обычное коксование;

б) двухступенчатые процессы: первая стадия — полукоксование, окисление или брикетирование, вторая стадия — термическая переработка при низких, средних или высоких температурах;

в) трехступенчатые процессы: первая стадия — полукоксование или окисление; вторая стадия — брикетирование; третья стадия — коксование при низких, средних или высоких температурах.

В литературе все еще неясно, что считать за отдельную технологическую стадию (ступень) процесса. В дальнейшем изложение принимается, что отдельной ступенью процесса является как термическая, так и механическая (брикетирование) обработка угля. С этой точки зрения, например, процесс, предусматривающий предварительное полукоксование, брикетирование полукокса и коксование брикетов, является трехступенчатым, в то время как иногда его называют двухступенчатым, исходя из двух стадий термической переработки угля.

В процессе коксования брикетов по двухступенчатому методу в брикете создаются сильные напряжения при выделении водяных паров и в процессе полукоксования при выделении газов, что ведет к образованию на брикете трещин и потере его прочности. Необходимо поэтому проводить коксование при медленном подъеме температуры с выдержкой особенно при температурах влаго- и газовой выделений.

Трехступенчатый процесс в этом отношении более прост, так как брикетированию подвергается не уголь, а полукоксы или кокс, и брикет в процессе сушки и полукоксования не испытывает напряжений, что дает возможность применить более быстрый нагрев при коксовании.

Преимущества двухступенчатых процессов — использование угля, как правило, без присадки спекающегося угля и связующего. Преимуществами трехступенчатых процессов являются

возможность использования более крупного угля (3—0 и 6—0 мм) и низкое давление прессования (до 200 кг/см²), а следовательно, возможность применения вальцовых прессов большой производительности.

Отрицательная сторона трехступенчатых процессов заключается в необходимости присадки спекающегося угля и связующего, хотя связующее частично может быть регенерировано при полукоксовании угля.

Помимо полукокса, по трехступенчатому методу в процессе предварительного полукоксования может быть получено ценное химическое сырье.

Наконец, методы расширения угольной базы коксования можно разделить по степени их практического осуществления:

а) процессы, находящиеся достаточно долго в опытно-промышленной эксплуатации, что дает возможность их всесторонней оценки;

б) процессы, требующие экспериментальной проверки в заводском масштабе;

в) процессы, не вышедшие из стадии лабораторных исследований.

Глава II

ИЗМЕНЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ КОКСОВАНИЯ

1. УВЕЛИЧЕНИЕ СКОРОСТИ КОКСОВАНИЯ

Скорость процесса коксования, составляющая в современных коксовых печах около 1,5 град/мин, есть некоторая средняя величина. Существенный интерес представляет величина фактической скорости нагревания, медленно возрастающая до 100°, быстро увеличивающаяся до 500—600° и затем снова медленно повышающаяся до 950°. Фактическая скорость коксования вследствие неравномерности обогрева по высоте камеры изменится в зависимости от расстояния слоя шихты от стенок камеры и от пода. В интервале температур от 100 до 600° фактическая скорость коксования изменяется в пределах от 3 до 10 град/мин.

В. А. Вехов [20] показал, что прочность вещества кокса, получаемого при самостоятельном коксовании (до 700°) ленинских газовых углей, постепенно возрастает с увеличением скорости нагревания с 1 до 6 град/мин. Оптимальная скорость коксования шихт с большим содержанием ленинских углей определяется в 3 град/мин (в интервале температур от 100 до 600°). Шихты с большим содержанием газовых углей Кузбасса следует коксовать при возможно более тонком помоле компонентов и с действительной скоростью нагревания основной массы шихты около 3 град/мин.

В. Крамерс [202] в лабораторных условиях исследовал влияние скорости нагрева на коксуюемость углей. Пробы угля в лодочках из жароупорной стали подвергали коксованию в муфельных печах с электрическим обогревом. Скорость нагрева варьировали у стенок лодочки от 300—500 до 200 град/мин и от 40 до 10 град/мин в середине загрузки. Пропуская электрический ток непосредственно через нагреваемый уголь с добавкой коксовой мелочи, можно осуществить скорость нагрева до 2000 град/мин.

Для опытов были взяты: тощие уэльские угли ($V^c = 13,4\%$), нортумберлендские и уорвикшайрские газовые угли с выходом летучих от 33,4 до 35,4%. Газовые угли шихтовались с 10% хорошо коксующегося угля, а также с 10% коксовой мелочи.

В описанных условиях из этих углей был получен прочный кокс. Резкое улучшение качества кокса при повышении скорости коксования может быть объяснено не только улучшением спекаемости угля, но и влиянием разложения летучих продуктов, проходящих через угольную загрузку.

При быстром нагреве угля качество получаемого из него продукта значительно повышается. Опыты, проведенные Еппельтом [193], в установке по нагреву во взвешенном состоянии показали, что при этом не только улучшается спекаемость, но и снижается температура размягчения угля до 380° . Предварительный нагрев метаморфизованного бурого угля газовым теплоносителем и непосредственное коксование его в коксовой печи позволяют получить спекшийся кокс.

Практически все каменные угли при достаточно быстром нагреве могут спекаться. Значительное повышение спекаемости возможно при быстром предварительном нагреве всей коксовой шихты до загрузки ее в камеры.

Большое значение имеет скорость повышения температуры во время перехода в пластическое состояние и при спекании угля. При быстром нагреве перед началом интенсивного разложения пластическая угольная масса достигает значительной подвижности (текучести) и образующиеся внутри нее газы оказывают значительное давление на стенки пузырьков. При медленном нагреве того же угля спекание проходит вяло, образуется менее прочный полукокс.

Увеличение механической прочности кокса при коксовании с большой скоростью плохоспекающихся углей (высокой и низкой степени метаморфизма) происходит преимущественно вследствие снижения их вязкости в пластическом состоянии.

Коксование в узких камерах

В процессе Бренштоф-Техник (БТ) используется возрастание пластичности углей с увеличением скорости их нагрева. Чем выше скорость нагрева угля, тем шире температурный интервал его пластичности. Высокая скорость нагрева достигается путем применения камер, стены которых выполнены из железа с температуропроводностью в 20 раз выше, чем у динаса. Это позволяет осуществлять процесс при гораздо более низких температурах в отопительных простенках. Ширина металлических камер может составлять от 60 до 125 мм. Чем хуже коксуется уголь, тем более узкие камеры необходимы для его коксования.

Обычно процесс коксования заканчивается при температурах, не превышающих 650° , что позволяет получить максимальное количество смолы из углей с большим выходом летучих.

Для облегчения выдачи кокса стенки камеры сверху подвешены на шарнире и могут быть отодвинуты в сторону.

Для осуществления равномерности обогрева камер по высоте применен принцип рециркуляции продуктов горения.

Каждый блок печей БТ состоит обычно из 10 камер, которые загружаются одновременно из многосекционного загрузочного вагона (рис. 1). Разовая загрузка каждой камеры составляет

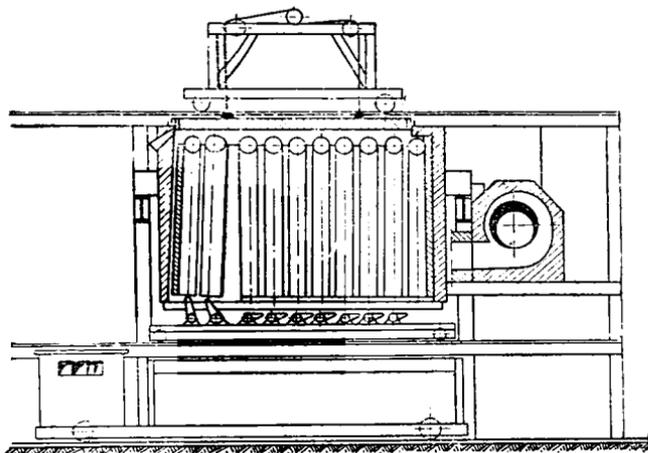


Рис. 1. Разрез блока печей Бренштоф-Техник

1 т угля; продолжительность коксования равна двум часам для брикетированной загрузки и четырем — для угля в засыпке. Кокс выдается в тушильный вагон и далее подвергается обычным операциям тушения и сортировки.

Улавливание химических продуктов коксования осуществляется так же, как и на обычных коксохимических заводах.

Стены камер обогриваются продуктами горения, поступающими из общей камеры, в которой сжигается отопительный газ. Количество газа, поступающего в горелку камеры сжигания, автоматически регулируется температурой рециркулирующих продуктов горения (рис. 2).

В печах БТ можно получать кокс из плохококсуемых углей с большим выходом летучих; причем в данном случае нет необходимости в предварительном окислении и брикетировании угля. Сырой уголь может быть переработан в тонкоизмельченном виде или в виде ореха. Опытные установки в Мариенё (Саар) производительностью 154 т кокса в сутки успешно перерабатывают верхнесилезский, рурский, саарский и лотарингский угли.

Процесс Бренштоф-Техник характеризуется значительной гибкостью; печи могут быть легко остановлены и снова пущены в ход. Выход смолы высок за счет низкого выхода газа.

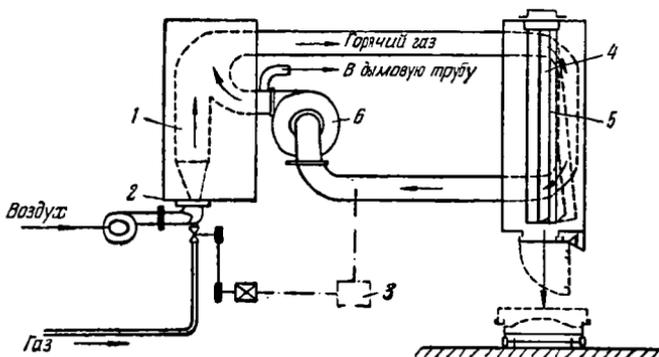


Рис. 2. Схема обогрева и рециркуляции газов в печах Бренштоф-Техник:

1 — камера сжигания; 2 — горелка; 3 — регулятор температуры; 4 — камера коксования; 5 — отопительный простенок; 6 — вентилятор

Возможности процесса ограничены тем, что он дает низкотемпературный продукт. При потребности в высокотемпературном коксе возникает необходимость в дополнительной зоне нагрева до высокой температуры.

Коксование в тонком слое на движущемся поде

К. Баум [146] на протяжении ряда лет разрабатывает способ коксования в тонком слое на непрерывно движущейся колосниковой решетке.

Путем использования довольно значительного экзотермического эффекта реакций, развивающихся в слое угля при ограниченном доступе воздуха, процесс коксования протекает без подвода тепла извне. Поскольку подводимый кислород воздуха расходуется на сгорание летучих веществ, в печи в целом поддерживается восстановительная атмосфера и связанный углерод не сгорает.

На полузаводской установке в Шовинигане (Канада), общий вид которой приведен на рис. 3, была достигнута переработка 180—300 кг угля в час на 1 м² колосниковой решетки против 10—12 кг/м²час в обычных коксовых печах. Эти данные соответствуют сокращению периода коксования с 16—20 час. до 12—20 мин.

Тепло, необходимое для процесса коксования, создается путем сжигания летучих веществ и небольшой части углерода коксового остатка с помощью воздуха, подаваемого по длине

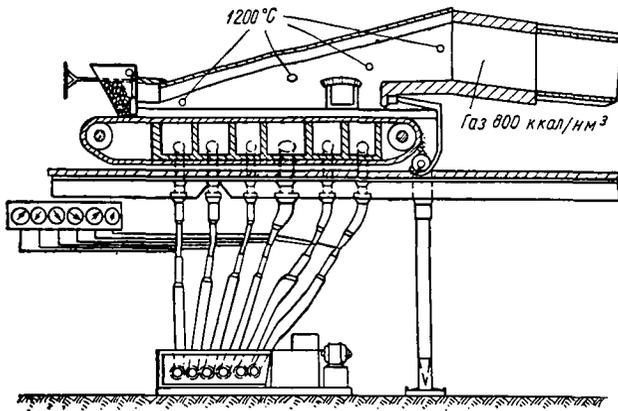
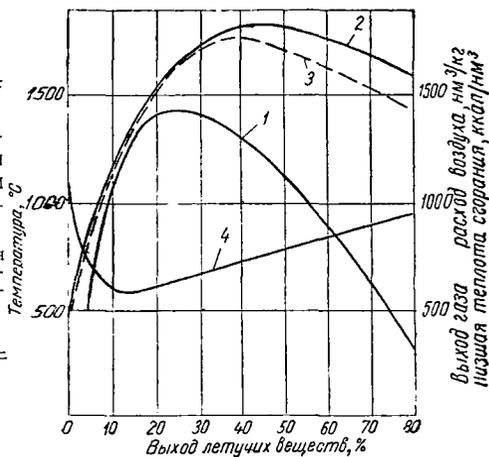


Рис. 3. Схема установки для коксования на движущейся колосниковой решетке

колосниковой решетки. Поэтому данный процесс получил название «самококсование» (autogene Verkokung).

Рис. 4. Зависимость расхода воздуха, выхода и теплоты сгорания газа, практической температуры горения от выхода летучих веществ из угля:

1 — практическая температура горения °С; 2 — выход газа, нм³/кг; 3 — расход воздуха, нм³/кг; 4 — низшая теплота сгорания газа, ккал/нм³



На рис. 4 представлена зависимость расхода воздуха, выхода и теплоты сгорания газа, практической температуры горения от выхода летучих веществ из шихты. Расчеты выполнены с

учетом сгорания 10% связанного углерода. В них также учтены тепловые потери в окружающее пространство.

Как показали опыты, необходимая для коксования практическая температура горения в 1200—1250° может поддерживаться постоянной путем регулирования количества и распределения подаваемого воздуха.

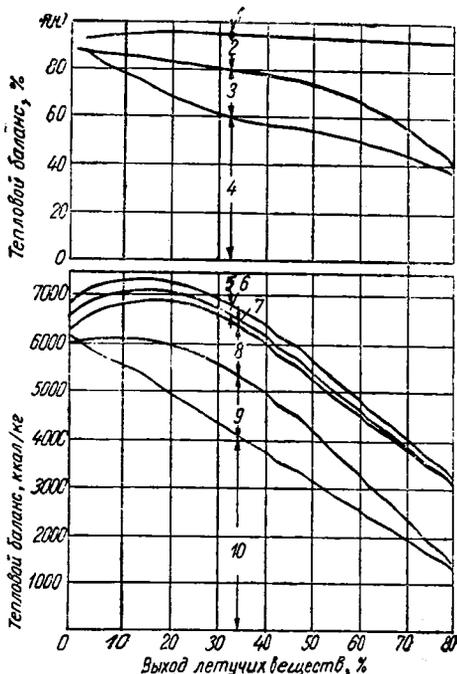


Рис. 5. Тепловой баланс процесса коксования на колосниковой решетке:

1 — тепловые потери и физическое тепло кокса; 2 — физическое тепло газа; 3 — тепло горения газа; 4 — тепло горения кокса; 5 — теплота сгорания угля; 6 — тепловые потери; 7 — потери с физическим теплом кокса; 8 — физическое тепло газа; 9 — тепло горения газа; 10 — тепло горения кокса

На рис. 5 графически показано изменение теплового баланса этого процесса в зависимости от выхода летучих.

Коксование путем сгорания летучих принципиально осуществимо для всех типов углей с выходом летучих веществ от 15 до 45%. Желательна предварительная подсушка перерабатываемых углей, поскольку испарение влаги в самой установке для коксования ухудшает ее тепловой режим и качество газа.

В случае, если частичное сжигание летучих не обеспечивает потребного количества тепла, предусматривается возможность подачи вторичного воздуха над решеткой.

По-видимому, в установке такого рода возможно получение кокса для низкотемпературных печей, химической промышленности и газогенераторов.

В настоящее время в Канаде уже существует ряд промышленных установок, работающих по этому методу [166]. Успешные заводские испытания проведены также в ФРГ.

Экономически наиболее выгодно комбинирование этого метода с энергетическими установками, в результате чего горячий газ используется непосредственно для производства пара.

Преимущества данного метода: возможность значительного расширения ассортимента углей для коксования, низкие капиталовложения, большая производительность установки. Недо-

статком же его является сжигание ценных химических продуктов и низкая теплота сгорания газа.

В Московском химико-технологическом институте им. Д. И. Менделеева и на Нижне-Тагильском металлургическом комбинате разрабатывается метод непрерывного коксования угольной шихты, лежащей на движущемся поде [68]. Для аппаратного оформления этого метода приняты широко используемые в промышленности кольцевые печи. По этому методу весь процесс получения металлургического топлива разделяется на три стадии:

1) стадия быстрого нагрева угля до пластического состояния, в процессе которой из угля выделяется гигроскопическая и часть пирогенетической влаги, а также оклюдированные в нем газы;

2) стадия спекания угля и образования полукокса;

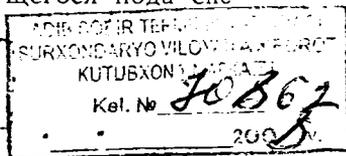
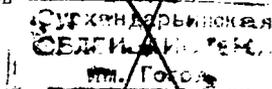
3) стадия перехода полукокса в кокс.

В период проведения второй стадии для улучшения качества кокса при коксовании слабоспекающихся углей, увеличения производительности печи и получения кокса заданной формы и размеров на нагретый уголь накладывается давление. Режим устанавливается для каждой стадии процесса отдельно в соответствии со свойствами угольных шихт, идущих на коксование.

Отбор парогазовых продуктов коксования для получения богатого и бедного газов производится отдельно, что дает возможность получать богатый газ, имеющий высокую теплотворную способность и содержащий все конденсирующиеся химические продукты коксования. Этих продуктов в нем значительно больше, чем в обычном сыром коксовом газе. Бедный же газ содержит большое количество водорода.

Процесс коксования по этому методу в экспериментальной кольцевой печи производится следующим образом (рис. 6): угольная шихта подается в бункер, откуда через питатель поступает в устройство для нагревания его до пластического состояния (вращающаяся барабанная печь с электрическим нагревом). Затем уголь поступает на нагретый движущийся под кольцевой печи. Высота слоя угля на поду кольцевой печи регулируется с помощью специального устройства. Уголь уплотняется до заданной степени приспособлением для трамбования. Это приспособление состоит из плиты, приводимой в движение от гидравлического пресса с максимальным давлением до 8 атм. Уплотненный слой угля транспортируется на движущемся поде и подвергается нагреву от свода кольцевой печи, обогреваемого газом при помощи специального отопительного канала. Готовый кокс сбрасывается с нагретого движущегося пода спе-

2 А. А. Агроскин, А. К. Шелков



циальным толкателем в бункер сухого тушения, а нагретая порция поступает снова под загрузку шихты.

Проведенное в Московском химико-технологическом институте им. Менделеева в лабораторных условиях в двухсекцион-

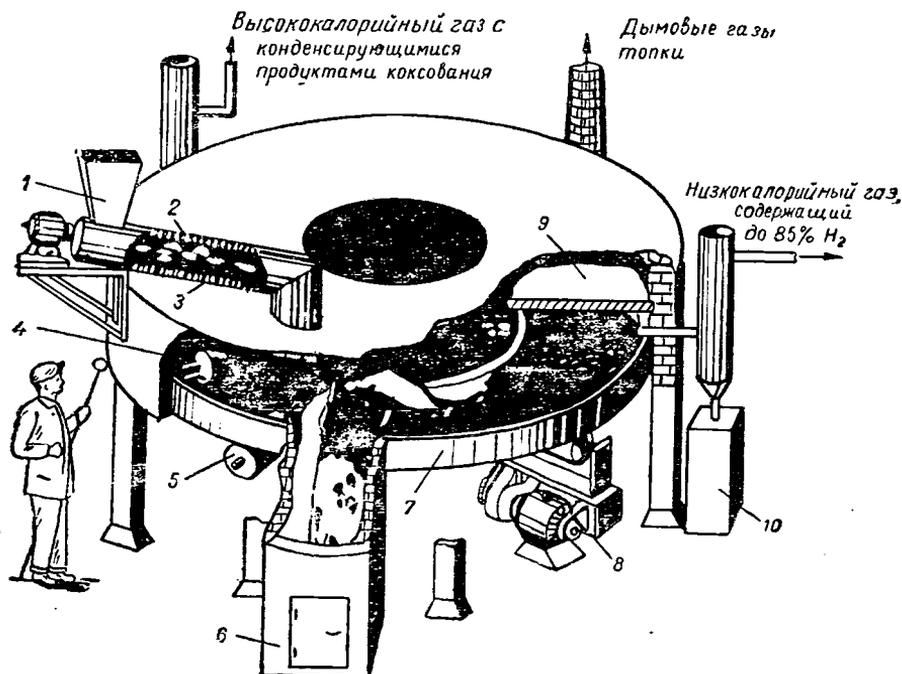


Рис. 6. Схема кольцевой печи для непрерывного коксования углей:

1 — узел загрузки угля; 2 — электроподогрев; 3 — шнек; 4 — узел выравнивания и трамбовки угля; 5 — поддерживающие ролики; 6 — приемник кокса; 7 — вращающийся под; 8 — привод; 9 — топка; 10 — отстойник смоляных продуктов

ной печи исследование зависимости качества кокса от способа подвода тепла (нижний, верхний, двусторонний) показало, что крупность кокса и механическая прочность его во всех случаях оказались выше при коксовании с верхним подводом тепла. Уменьшение давления расpiration в пластическом слое угля, связанное с некоторым вспучиванием коксуемой загрузки при коксовании свободно лежащего слоя, не приводило к заметному ухудшению спекаемости. Предварительная термическая подготовка угля уменьшает продолжительность коксования и улучшает качество кокса благодаря более равномерному прогреву коксуемой загрузки.

Лабораторные исследования также показали, что при коксовании свободно лежащего слоя угольной загрузки можно полу-

чить удовлетворительный по качеству кокс из одного газового угля.

В дальнейшем Г. Н. Макаров и Ван Чжан-сюн [69] проводили лабораторные исследования на установке, состоящей из вращающейся барабанной печи для предварительного нагрева и электрической двухсекционной печи для коксования. В первой секции лабораторной печи перед загрузкой температура подсводового пространства составляла 750° . Под печи нагревался до 500° за счет верхнего раскаленного свода и частично нижнего обогрева. После загрузки угля, предварительно нагретого до температуры $250-300^{\circ}$, температуру подсводового пространства повышают до 900° со скоростью $2-1$ град/мин. Горячий под отдает загрузке часть тепла. Во второй секции печи повышение температуры загрузки происходит только за счет верхнего теплового потока, причем температуру подсводового пространства повышают от 850 до 1050° .

Результаты исследования показали возможность получения по данному методу удовлетворительного кокса из слабоспекающихся газовых углей (шахта 2/7 Лидиевка, шахта Лаофудай — КНР). Кроме того, в лабораторных условиях был получен кокс из шихт с высоким содержанием длиннопламенных углей (Фушунский карьер).

Метод непрерывного коксования угольной шихты, свободно лежащей на движущемся поде, разрабатываемый в Московском химико-технологическом институте им. Д. И. Менделеева, после проверки его в лабораторных условиях испытывался на опытной полупромышленной установке. Испытания эти не закончены.

Метод получения металлургического кокса из плохоспекающихся углей в кольцевых печах разрабатывается также и в США. В ближайшее время будет введена в действие опытная установка в Дорчестере (штат Виргиния), а затем построена опытно-промышленная печь диаметром $21,35$ м, производительностью 4500 т металлургического кокса в месяц.

Прототипом этой печи послужили широко применяющиеся в металлургии вращающиеся кольцевые печи для нагрева прокатных заготовок. Нагрев угля будет производиться за счет тепла сжигания выделяющихся газов с таким расчетом, чтобы процесс коксования заканчивался за один оборот печи.

Коксование с переменной скоростью нагрева

Обычно вопрос об изменении скорости нагрева связывался с изменением производительности коксовой установки: уменьшенная скорость прококсовывания, дающая лучшие показатели трещиноватости кокса, может быть достигнута при удлинении периода коксования.

Однако принципиально возможно достигнуть улучшения качества кокса изменением режима коксования при сохранении постоянной производительности установки. Поскольку скорость коксования особенно велика в первые часы после загрузки шихты, для уменьшения трещиноватости кокса достаточно уменьшить начальную скорость коксования. Для того чтобы при этом период коксования оставался тем же, скорость в конце коксования необходимо повысить, т. е. среднюю скорость прококсовывания оставить постоянной. Подобное мероприятие можно осуществить, резко снизив температуру стенки камеры в начале коксования, а в конце коксования увеличив разность температур между стенкой и коксом.

Оценивая результаты ряда лабораторных и заводских опытов, А. З. Пашкевич [84] считает, что для уменьшения трещиноватости кокса при высоких маршах необходимо уменьшить скорость нагрева в начале процесса коксования и увеличить ее в конце. «Перестой» готового кокса в камере приводит к возрастанию общей трещиноватости кокса и к падению индекса сбрасывания.

Результаты производственных опытов, осуществленных А. З. Пашкевич и др. на Запорожском заводе, показали, что пониженная температура в вертикалях коксовых печей в первой половине периода коксования действительно резко уменьшает трещиноватость кокса и увеличивает индекс сбрасывания. Пониженная температура в начале коксования с дальнейшим ее повышением наряду с улучшением качества кокса обеспечивает высокую производительность печей.

До сих пор не вполне ясен вопрос о практической возможности батарейного коксования по такому методу.

Исследования Д. С. Дорофеева [36], проведенные на лабораторной печи, показали, что для получения полукокса, а затем и кокса без трещин необходимо, чтобы повышение температуры коксуемой шихты от полного перехода ее в пластическое состояние при 400—450° до 600° проходило с определенной для каждого угля скоростью. Изученные автором угли требуют следующих оптимальных скоростей нагрева:

Марка угля	Скорость нагрева град/мин
Ж	1,0
К	1,5
ОС	1,8

Скорость нагревания в интервале от полного размягчения до 600° определяет плотность, величину кусков, трещиноватость и стойкость кокса к механическому воздействию.

С целью сохранения коксующих свойств угля его нагревание до полного размягчения следует проводить с максимальной

скоростью. Скорость нагревания полукокса выше 600—650° мало влияет на качество кокса, поэтому этот процесс также следует проводить с возможно большей скоростью.

Соблюдение оптимального температурного режима коксования, свойственного каждому углю, дало возможность в лабораторных условиях из отдельных углей марок ОС, Ж, Г получить кокс высокого механического качества.

Ныне принятые конструкции печей не позволяют резко менять температурные условия в процессе коксования, т. е. важнейшие ресурсы расширения сырьевой базы не могут быть использованы. Возможны такие варианты обогрева коксовых печей, которые наряду с сокращением периода коксования дают меньшую трещиноватость кокса.

Д. С. Дорофеев [36] исследовал влияние теплового режима коксования на качество получаемого кокса в опытной печи укрупненного масштаба с разовой загрузкой 100 кг угля. Опыты коксования одинаковых шихт в опытной печи при температуре в камере 850—900° и в заводских печах при температуре в камере 1030—1070° показали, что в заводских печах кокс получается более низкого качества. Автор считает, что в современных коксовых печах не обеспечиваются условия получения кокса наиболее высоких качеств из многих шихт и что с повышением температуры нагреваемой стенки качество металлургического кокса повышается только до определенного предела, после чего начинает снижаться.

При проведении процесса коксования в условиях, соответствующих свойствам угля, можно получать металлургический кокс из отдельных углей марок Г, Ж, К, ОС и шихт, составленных из углей марок Д, Г, ОС без отошающих добавок и в смеси с ними.

Таким образом, коксование с переменной скоростью нагрева дает принципиальную возможность улучшить качество кокса без понижения производительности коксовой установки. Необходимо детальное изучение возможностей промышленного внедрения переменного режима обогрева путем изменения серийности выдачи кокса, а также путем соответствующей модификации обогревательного простенка коксовых печей.

Нужно также указать на работы Л. М. Сапожникова и др. о применении послышной загрузки в камеры коксовых печей. К стенке камеры засыпается слой шихты, которая дает хороший кокс при быстром нагреве, а в центр — слой шихты, дающей хороший кокс при медленном нагреве. Опыты проводились в Институте горючих ископаемых и в Днепропетровском углехимическом институте в 1940—1941 гг. Работы А. С. Брука показали, что при соответствующей организации процесса и надлежащем устройстве загрузочного вагона получается четкое распределение

угля в камере коксовой печи по слоям. Это исследование может представить интерес для разработки новых вариантов послыдного процесса коксования.

2. КОКСОВАНИЕ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

Интересен процесс коксования под давлением, который обеспечивает улучшение качества кокса. Блайден, Нобль и Райли [151], применяя механические давления в 45—130 кг/см^2 , получили прочный кокс при коксовании лигнита при 600°, тогда как при нормальном давлении он дает порошкообразный кокс. Заметное влияние на свойства кокса оказывает также крекинг паров и газов, задерживающихся в пластическом угле при коксовании под давлением. Этим объясняется возможность получения плотного кокса из некоксуемых углей, если коксование вести под давлением около 50 атм. Исследования проводились в автоклаве с внешним обогревом. Избыточное сверх заданного давление газа сбрасывалось при помощи вентиля.

Опыты, проведенные Фишером, Бером и Зустманом [171], также подтвердили, что обработка угля при повышенном давлении газа увеличивает его спекаемость. Те же явления наблюдаются при газификации под давлением. По данным Уусна (диссертация, Фрейберг, 1945), при газификации под давлением бурого угля измельчения 3—10 мм, подвергаемого быстрому нагреву до 350°, в верхней части генератора наблюдались спекшиеся куски. Такие же результаты получились при газификации в том же генераторе неспекающихся или плохо спекающихся каменных углей.

И. Трифонов и Г. Тошев [259] констатировали резкое улучшение коксуемости углей при проведении процесса коксования под высоким давлением.

Проводя опыты на лабораторной установке для коксования под давлением, Шмидт [240] получил кусковой кокс из лигнита, древесины и других неспекающихся топлив. Применение высокого давления не оказывает влияния на выходы химических продуктов, в частности смолы. В результате лабораторных опытов сконструирована полужаводская установка непрерывного действия для получения кокса из некоксуемых углей.

В последнее время Н. С. Грязнов и В. К. Петров [27] прозели лабораторные опыты по коксованию под давлением в ретортах на 100 и 5000 г угля. Исследовались воздушно-сухие обогащенные угли от длиннопламенных до тощих. После нагрева в автоклаве до 600—700° и охлаждения полукокс извлекали и прокаливали в тигельной печи при атмосферном давлении. Для всех исследованных углей с повышением газового давления до 25—50 атм температура в угольной загрузке снижалась в среднем

на 75°. Снижение температуры при повышении газового давления может быть объяснено дополнительным расходом тепла на вторичный пиролиз в парогазовой фазе, время пребывания которой в реакционном пространстве удлиняется.

С повышением внешнего газового давления увеличивается пластификация угольного вещества при термическом разложении. Повышение газового давления увеличивает структурную прочность кокса из слабоспекающихся углей и угольных смесей при больших ресурсах первичной смолы (больше 5%), а также кокса из хорошо спекающихся углей при малых ресурсах смолы ($\leq 5\%$).

Наиболее значительное повышение спекаемости наблюдалось при коксовании под давлением длиннопламенного журинского угля, который дал хорошо сплавленный, пористый и трещиноватый полукокс. При последующей прокалке он превратился в кокс, который по прочности соответствовал коксу из хорошо спекающихся газовых углей.

Следует отметить, что практические перспективы коксования под давлением с целью использования плохо коксующихся углей недостаточно ясны из-за трудностей, связанных с аппаратурой для проведения процесса.

Глава III

ВВЕДЕНИЕ В ШИХТУ РАЗЛИЧНЫХ ДОБАВОК

1. ДОБАВЛЕНИЕ ВЕЩЕСТВ, УЛУЧШАЮЩИХ СПЕКАЕМОСТЬ

Среди возможных добавок для улучшения спекаемости углей значительное место занимают соединения, отщепляющие водород.

Как показал М. Самек [235], путем подмешивания к тощему углю 9—10%-ного дигидроантрацена из него удаётся получить кокс, что следует объяснить частичным гидрированием угольного вещества. В результате процесса коксования данной смеси одновременно получается антрацен. Аналогичным путем воздействуют и добавки α — β' -динафтилсульфона. Таким образом, в настоящее время известны некоторые чистые химические соединения, способные вызвать спекание угольных частиц.

Гадзи, Кавчич и Самек [181] показали, что путем добавления к углю соединений с различными функциональными группами (нафталин, поливинилхлорид, сахароза и т. д.) может быть увеличена спекаемость угля. Значительный эффект дает добавление асфальтенов, которые в соответствующих условиях легко отдают водород. Большое значение имеет температура плавления и температура начала разложения добавляемого вещества.

Коксуемость плохо спекающихся углей может быть улучшена путем добавления к ним алициклических соединений [135]. Показано также положительное влияние конденсированных циклических структур. При добавке к индийскому углю Пониати 10% сульфата хирина индекс спекаемости его увеличился с 15 до 18, также при добавлении 10% холестерина, и до 17 при добавлении 10% пека. Эффективность добавления пека объясняется значительным содержанием углерода в виде алициклических структур. Добавление ароматических соединений типа хризена и пирена оказалось неэффективным.

Изучение кинетики термического разложения угля показывает, что небольшими добавками к углю органических и минеральных веществ можно влиять на свойства пластической массы и тем самым улучшить качество кокса. Влияние добавок на некоторые свойства пластической массы показано в работе Л. М. Сапожникова и И. Н. Николаева [95].

М. Д. Шапиро с сотрудниками [126] для уменьшения влияния кислородсодержащих соединений на свойства пластической массы применяли добавки едкого и углекислого натрия. При этом повышалась температура разложения пластической массы и улучшалась спекаемость полукокса.

М. Д. Шапиро [126] показал, что в процессе термического разложения углей, не однородных по петрографическому составу, не соблюдается правило аддитивности, справедливое для углей, однородных по вещественному составу. Это позволяет предположить, что некоторые угли, оцениваемые как не пригодные для коксования, в смеси с другими спекающимися углями могут положительно влиять на процесс коксообразования. Проведение соответствующих исследований позволит расширить сырьевую базу коксования путем применения слабоспекающихся и неспекающихся углей.

Добавление каменноугольной смолы, пека и мазута. Ф. Лирг [207] изучал воздействие добавок пека с высокой температурой размягчения на процесс коксования неспекающихся углей. Добавление пека к бензолному раствору бурых углей приводило к получению твердого, прочного кокса.

А. Брюкнер и Г. Хубер [154] подтвердили техническую возможность получения кокса из неспекающихся углей путем подмешивания в шихту пека. Авторы использовали раствор в пиридине продуктов конденсации каменноугольного пека.

Еппельт [192] показал, что металлургический кокс может быть получен при добавлении к бурому углю спекающегося каменного угля. Каменный уголь играет роль связующего, причем часть его может быть заменена другим связующим, например каменноугольным пеком, расход которого в такой смеси составляет только 3%. Шихта нагревается с большой скоростью до начала пластического состояния и далее подвергается коксованию в обычной коксовой печи.

А. Лиснер [208] также исследовал влияние добавок пека на коксуюемость углей. Связующее было получено путем разложения пека бензолом. Не растворимые в бензоле α -составные части пека дают при тигельном коксовании проплавленный, более или менее вспученный коксовый королек. Путем окисления воздухом или экстрагирования ароматическим растворителем с более высокой точкой кипения, чем бензол, температура плавления пека еще более повышается. В то время как воздействие воздуха при температуре выше 200° обычно совершенно разрушает коксуюемость углей, при продувании воздуха через пек протекают совсем иные процессы. Если связующее, полученное из обработанного таким путем пека, добавить к бурому углю, то образуется вязкопластическая масса, которая легко формуются вручную. Так, например, при добавке 20% растворенного в антраценовом

масле пекового связующего к измельченному эгельнскому бурому углю был получен весьма твердый блестящий кокс черного цвета.

В. С. Познанская путем добавления пека получала прочный кокс из тощих углей и антрацитов. Нужно указать на значительные трудности полного смешения угля с пеком.

По данным Грузона и Гарстка [179], литейный кокс может быть получен из тощих углей и антрацита при добавлении к ним буроугольного пека в качестве связующего. Пек подвергается предварительной термической обработке с тем, чтобы выход летучих из него был тем же, что и из жирных углей.

В промышленной практике США регулярно осуществляется добавление в шихту пека для улучшения качества кокса. На коксохимическом заводе в Фонтане (США) с повышением содержания в шихте пека в пределах 0—10% качество кокса заметно улучшалось.

Заводские опыты, проведенные в Польше, показали, что качество кокса улучшается с повышением температуры размягчения добавляемого пека.

Добавление буроугольного пека. Буроугольный пек содержит лишь незначительные количества не растворимых в бензоле α -составных частей и дает плохой кокс. Значительно лучшую коксуемость проявляют окисленные остатки.

Х. Бэр [145] получил прочный полукоксовую смесь углей с тяжелой фракцией масла, получаемого при гидрировании угля, или с маслосодержащими остатками процесса гидрирования.

Добавление различных отходов. В качестве добавок могут быть использованы кислые смолы, получаемые при переработке нефти, $\beta - \beta'$ -динафтилсульфон, а также асфальтобитум. При брикетировании и последующем коксовании бурого угля, пропитанного подобными добавками, в лабораторных условиях получают весьма прочный кокс, раздавливающее усилие которого составляет более 200 кг/см^2 . К сожалению, все указанные добавки характеризуются высоким содержанием серы.

Добавление мазута в количестве 2—3% от шихты позволяет улучшить качество кокса и одновременно увеличить выход газа и химических продуктов коксования.

2. ДОБАВЛЕНИЕ ОТОЩАЮЩИХ ВЕЩЕСТВ

Можно представить следующий механизм влияния инертных добавок в шихту на качество получаемого кокса. При температуре затвердевания пластического слоя инертная добавка не дает усадки и понижает общую усадку полукоксования. Если механические свойства основных компонентов шихты те же, что

инертного материала, усадка подчинялась бы свойству аддитивности и влияние 10—15% инертной добавки на усадку было бы незначительно. Однако можно теоретически доказать, что уменьшение усадки смеси тем больше, чем выше модуль упругости инертной добавки. Разница в эффекте воздействия объясняется тем, что модуль упругости кокса значительно выше, чем полукокса.

Поскольку спекающиеся газовые угли дают хорошо спекшийся, но трещиноватый и мелкий кокс, можно рассчитывать, что добавки к этим углям отощавших материалов с высокоразвитой поверхностью снизят интенсивность спекания, благодаря чему увеличится крупность кокса и уменьшится его трещиноватость.

В результате исследования С. Г. Аронова с сотрудниками [5] было выявлено, что добавка к газовому углю талька и гашеной извести, отличающихся большой дисперсностью, приводит к повышению прочности кокса. В малых дозах гашеная известь действует активнее талька, а с увеличением добавки влияние гашеной извести и талька становится практически одинаковым. Уменьшение дробимости кокса из газового угля может быть достигнуто путем добавки к углю небольшого количества (около 1,5%) минеральных веществ, обладающих развитой поверхностью (гашеная известь, тальк и сходные с ним глины).

Добавление бурого угля

Существенный интерес представляет добавление в шихту бурого угля.

Опыты коксования смесей подмосковного бурого угля и донецких коксующихся углей марки Ж в лабораторном, полужаводском и заводском масштабах [124] показали, что при предварительном трамбовании шихты можно получить удовлетворительный по качеству кокс, пригодный для доменной плавки. Подмосковный бурый уголь можно прибавлять не только к коксовым донецким углям, но и к газовым в количестве до 45%. Для снижения зольности кокса уголь необходимо предварительно обогащать.

Полученный при промышленном коксовании кокс из смеси бурого и каменных углей имел содержание влаги 2,5—4,5%, серы 1,7—2,2%, зольность 9,7—10,3%, выход летучих 0,7—1,1%. Барабанная проба дала удовлетворительные результаты (75% остатка в барабане); в подбарабанном остатке содержание класса >25 мм около 8% (от веса пробы). Пористость кокса была от 40 до 50%. Реакционная способность смешанного кокса по сравнению с обычным доменным коксом оказалась повышенной, приближающейся к древесному углю.

Еще в 1940 г. на Криворожском металлургическом заводе была проведена опытная плавка в большой доменной печи на смешанном коксе, давшая вполне удовлетворительные результаты [62]. Нарушений процесса плавки не наблюдалось, ход печи был ровный.

Кокс был получен в обычных условиях из смеси донецких углей марки Ж и бурого угля Александрийского месторождения в количестве до 30%. Характеристика угля приведена в табл. 3. Оптимальная добавка бурого угля к каменному составила 15%.

Таблица 3
ТЕХНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ БУРОГО И КАМЕННОГО УГЛЕЙ

Уголь	Содержание влаги, %	Анализ угля на сухую массу, %		
		зольность	содержание серы	выход летучих
Бурый	35,0	18,0	3,02	41,0
Каменный, Ж	3,0	4,5	1,05	25,0

Для получения однородного кокса должна быть тщательно подготовлена шихта. Влажный бурый уголь плохо дробится, образуя комки, неравномерно распределяющиеся в шихте. Поэтому необходимо уголь подсушить и после соответствующего измельчения хорошо смешать с каменным углем.

Полученный смешанный кокс был равномерным по кусковатости и показал хорошее сопротивление истиранию. Остаток в барабане составил 300—340 кг; сопротивление раздавливанию 100—130 кг/см². Зольность составила около 11%, выход летучих из него — 1,2%.

Александрийские угли характеризуются повышенным содержанием серы; однако значительная часть ее находится в виде органических соединений и удаляется в процессе коксования. Зола этих углей самоплавкая (содержание СаО — 23,06%; MgO — 5,5%), что является серьезным преимуществом кокса из этих углей при использовании его в качестве доменного топлива.

По сравнению с донецкими углями выход бензолных углеводородов при коксовании смешанной шихты значительно больше, возрастает также количество толуола и других метилированных углеводородов.

Опытное коксование показало, что кокс удовлетворительного качества может быть получен из смеси бурых углей с газовыми и антрацитом.

Основные технологические операции коксования шихты из бурых и каменных углей таковы: тонкое измельчение обоих ком-

понентов, сушка шихты, предварительная термическая обработка, коксование, сухое тушение получаемого кокса.

Металлургический кокс был получен при коксовании шихты, состоящей из 20% хорошо спекающегося югославского каменного угля, 20% рурского каменного угля и 60% бурого угля, представляющего смесь 30% твердого угля и 30% лигнита. Угольную шихту сушат в трубчатой печи и одновременно термически обрабатывают; горячая шихта перед загрузкой в коксовую печь подвергается трамбованию.

Следует учитывать, что при коксовании бурых углей зольность кокса повышается в большей степени, чем при коксовании каменных углей, поскольку бурые угли дают значительно меньший выход кокса. Поэтому для коксования следует использовать малозольные (зольность до 10%) и малосернистые бурые угли.

В Югославии, не имеющей собственных запасов коксующихся углей, широко развернуты работы по получению металлургического кокса из шихт с участием бурых и неспекающихся каменных углей. Опыты показали, что с добавками к коксующемуся углю от 10 до 30% лигнита можно получить кокс с показателем М-40 в пределах 72—90% и М-10 от 5 до 18%. При коксовании шихт из коксующихся углей с добавкой до 45% бурого угля получен кокс с показателем М-40 в пределах 72—90% и М-10 от 4 до 18%. Для промышленного применения в Югославии намечена шихта, состоящая из 70% коксующихся углей, 20% бурого и 10% длиннопламенного угля. Опытные коксования шихт проводились насыщенным и трамбовочным методами [172].

В Югославии построены два коксохимических комбината, производящих металлургический кокс из смеси бурых и каменных углей. Годовая производительность их 675 000 т [256]. Кокс используется в доменной плавке.

В Чехословакии в доменных печах среднего объема (производительностью 350—380 т/сутки) используется смешанный кокс из каменных остравских углей с добавкой 15% бурых углей бассейна Моста [196].

В Корейской Народно-Демократической Республике также используются бурые угли в шихте для коксования [63]. Из корейских углей особенно пригодны для производства кокса высококалорийные бурые угли, характеризующиеся влажностью 12—15% и зольностью 10—13%. Удельный вес этих углей в коксовой шихте в конце 1959 г. достиг 15%.

В Сибири, Казахстане и других восточных районах нашей страны, при наличии значительных запасов железных руд и прочего металлургического сырья, в ряде случаев отсутствуют спекающиеся угли. Но вместе с тем там же залегают не менее мощ-

ные запасы бурых углей, встречаются и месторождения каменных неспекающихся и слабоспекающихся углей.

Особого внимания заслуживают бурые угли Красноярского края, добываемые открытым способом и отличающиеся низкой себестоимостью и сравнительно низкой зольностью и сернистостью.

Добавление полукокса, кокса и антрацита

Опытными работами Украинского углехимического института показано, что увеличение содержания газовых углей в шихте должно сопровождаться вводом значительного количества углей марки ОС. Ограниченность ресурсов углей пониженной спекаемости заставляет изыскивать новые виды отошающих добавок.

Тонкоизмельченный полукокс представляет хорошую отошающую примесь при коксовании шихт с высоким выходом летучих веществ. Это доказано работами, которые проводили Н. П. Чижевский и Ф. А. Попутников [125], С. И. Панченко [82], А. М. Мирошниченко [71] и другие отечественные исследователи; подтверждается это также опытом работы зарубежных коксохимических заводов.

Угли Иркутского бассейна при самостоятельном коксовании не дают хорошего металлургического кокса, из смеси же черемховских и забитуйских углей с полукоксом из тех же углей в количестве до 20% был получен кокс хорошего качества [90]. При этом лучший по прочности кокс получается при выходе летучих веществ из полукокса около 15%. С уменьшением выхода летучих прочность кокса снижается.

Полузаводской опыт коксования, проведенный Н. П. Чижевским [124], показал, что введение в шихту из донецких углей полукокса из подмосковного угля (Щекинского месторождения) в количестве 40—50% дает хороший мелкопористый кокс с сопротивлением раздавливанию 240 кг/см^2 (при 40% полукокса) и 110 кг/см^2 (при 50% полукокса) с пористостью в 48—50%. Кокс получается зольностью 12,6—13,8%, с содержанием серы 1,5—1,7% и выходом летучих 1—2%.

Для получения хорошего кокса необходимо мелкое дробление угля и полукокса и тесное соприкосновение частиц, для чего шихта должна быть увлажнена (11—14% влаги) и утрамбована.

И. Я. Фельбербаум, Г. А. Зильберг и В. Н. Чуфаровский испытали несколько типов шихт с содержанием полукокса из углей восточных бассейнов. В большинстве случаев прибавки полукокса улучшали качество кокса, получаемого из жирных шихт.

Г. И. Дешалит [32] исследовал возможность производства на Губахинском коксохимическом заводе кокса из угольных шихт,

не содержащих привозных углей. Часть кизеловских углей подвергали предварительной термической обработке и затем смешивали с исходными углями. Составленная из такой смеси шихта при коксовании дала удовлетворительный кокс.

С. И. Панченко [82] провел работу по добавлению полукокса из челябинских бурых углей к угольным шихтам Нижне-Тагильского и Губахинского коксохимических заводов. При производстве опытов преследовалась задача частичной или полной замены углей марки ОС челябинским полукоком. С добавкой 20% челябинского полукокса уголь Кизеловского района дал кокс прочностью 320—325 кг и уголь Губахинского района — кокс прочностью 313—325 кг. Этой работой была доказана возможность использования полукокса с выходом летучих не ниже 9% в качестве отощающей добавки к углям Кизеловского бассейна.

Исследование Института металла и горного дела АН Грузинской ССР [33] показало, что коксовые корошки из шихт, в состав которых входят 40% кварчельского, 40% ткибульского угля и 20% ткибульского полукокса, обладают большей прочностью, чем коксовые корошки, полученные из шихт, состоящих из 50% кварчельского и 50% ткибульских углей. Введение в шихту ахалцихского бурогоугольного полукокса дает почти такой же результат, что и введение ткибульского полукокса.

Производство полукокса как отощающей добавки для коксовых шихт имеет ряд особенностей в сравнении с обычной технологией полукоксования. Согласно исследованию ВУХИНа, в качестве отощающей добавки должен применяться полукокс, полученный при температуре около 450° [81]. При этой температуре, по-видимому, качество первичной смолы не меняется в сильной мере по сравнению с обычным полукоксованием, заканчивающимся при 500—550°.

Использование полукокса в шихтах может иметь большое значение для производства металлургического кокса из углей, например, Иркутского и Буреинского бассейнов, поскольку при этом уменьшается или отпадает потребность в привозных углях марки ОС для добавления их в шихты при коксовании.

Исследования Е. М. Тайца и Г. Е. Фридмана [106], проведенные в лабораторных и полузаводских условиях, показали возможность использования в шихтах для коксования торфяного полукокса. Ими проверялось качество кокса, полученного путем ящичных коксований из смеси углей Г, Ж, К и 10—15% торфяного полукокса. Кокс оказался весьма прочным и менее сернистым, чем кокс из аналогичной шихты с участием угля ОС вместо полукокса. Эти результаты показали, что между пластической массой и зёрнами полукокса благодаря их развитой поверхности возникает достаточно прочная адгезионная связь, при этом

кокс был умеренно трещиноватым. Понижение трещиноватости произошло также вследствие уменьшения усадки за счет добавки полукокса.

Принципиально возможно расширение угольной базы коксования путем использования торфяного полукокса, что может представить интерес, в частности, для северо-западных районов СССР.

В настоящее время намечено провести опытные работы по применению вместо донецких отощенных углей торфяного кокса в качестве отошающей присадки в шихте для коксования на Череповецком металлургическом, Ленинградском и Московском коксогазовых заводах. Полученный кокс должен быть испытан в доменных печах и в вагранках.

Предстоит проведение опытных работ по применению торфяного кокса и полукокса для агломерации (Нижне-Тагильский металлургический комбинат) и для производства рудно-топливных гранул. Также будет проверена возможность использования низкосернистого кускового торфяного кокса в качестве металлургического топлива для вагранок и доменных печей.

Многочисленные исследования, проведенные в ряде зарубежных стран, показали, что добавки полукокса к углям с высоким выходом летучих веществ дают возможность получить кокс с удовлетворительной механической прочностью.

Для возмещения недостатка в углях с низким выходом летучих в США используют в шихтах порошок полукокса с выходом летучих 16—18% [211]. Судя по литературным данным, это мероприятие вполне себя оправдывает (табл. 4).

Таблица 4
ШИХТОВКА УГЛЯ ЮТА С ТОЩИМИ УГЛЯМИ И ПОЛУКОКСОМ

Состав шихты	Свойства кокса—выход класса +50 мм, %	Индекс сбрасывания %
Уголь Юта 100%	44,9	11,4
Уголь Юта 87,5%. Уголь Оклахома 12,5% (с низким выходом летучих)	68,4	49,9
Уголь Юта 87,5%. Уголь Восточный 12,5% (с низким выходом летучих)	77,4	57,5
Уголь Юта (85%) и порошок полукокс (15%)	79,6	63,7

Опыты коксования в экспериментальной печи углей Санисайд с высоким выходом летучих в смеси с полукоксом в количестве 5% показали значительное улучшение физико-механических свойств кокса. Добавление 10% полукокса дало некоторое до-

полнительное улучшение качества кокса. При дальнейшем же увеличении содержания в смеси полукокка качество кокса стало ухудшаться. Аналогичные результаты были получены при коксовании тех же смесей в промышленных печах.

Опыты показали, что выход летучих веществ из полукокка оказывает существенное влияние на качество кокса. Наилучший по механическим качествам кокс был получен из смеси с полукоксом, выход летучих из которого составлял 16,1 %.

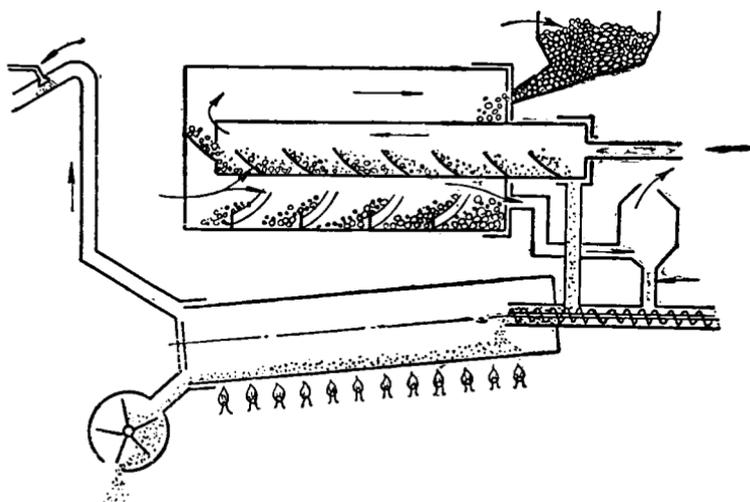


Рис. 7. Печь полукоксования в Мариено

Для получения более прочного кокса из угля Санисайд и смесей этого угля с полукоксом из него необходимо проводить коксование при более высокой температуре [59].

Во Франции и Польше также был проведен ряд опытов по прибавлению в шихту полукокка, однако в этих странах полукокк рассматривают как отощающую добавку, действие которой несущественно отличается от действия добавок коксовой мелочи. По-видимому, эффект добавления полукокка аналогичен получаемому при добавлении в шихту тощего угля. Интересный результат может быть получен при предварительной низкотемпературной обработке угля до температур ниже стадии пластичности.

Представляет интерес разработанный во Франции метод использования полукокка из слабоспекающегося длиннопламенного угля. Соответствующая опытная установка была создана в Мариено [218]. Лотарингский длиннопламенный уголь предварительно подвергают полукоксованию в печи, представляющей два вращающихся горизонтальных цилиндра, установленных друг над другом (рис. 7). Уголь проходит оба цилиндра

З А. А. Агроскин, А. К. Шелков

за полтора часа; температура уходящего порошка полукокса составляет 550°. Верхний цилиндр состоит из двух концентрических барабанов, через которые пропускается воздух в противотоке к углю. Прибавление получаемого порошка полукокса в количестве 20% к шихте с большим выходом летучих, состоящей из 25% жирного саарского угля и 55% лотарингского газового, позволяет получить удовлетворительный по качеству кокс. Насыпной вес шихты увеличивается на 13% путем термической сушки ее до влажности 2%.

Введение в шихту инертных добавок — тощих углей, антрацита, коксовой мелочи, полукокса — исследовалось в ползаводском масштабе на опытной станции в Мариено [213].

Опыты в Мариено проводились преимущественно с добавками тонкоизмельченной мелочи металлургического кокса либо полукокса, получаемого во вращающейся печи из длиннопламенного угля. В этой печи с внешним обогревом уголь нагревается в течение часа до конечной температуры 550°. Выход летучих из полукокса составляет около 15%. Для опытов взята шихта, состоящая из 33% коксового угля, 33% жирного и 34% газового угля и предварительно уплотненная до насыпного веса 900 г/л. Эта шихта по составу типична для Лотарингского бассейна. В результате добавления в шихту до 10% коксовой пыли истираемость получаемого кокса, оцениваемая по индексу М-10, остается практически постоянной, а при добавке пыли в количестве более 5% даже несколько повышается (рис. 8). Одновременно с этим отмечается существенное повышение индекса М-40, что свидетельствует об уменьшении истираемости кокса. Добавление полукокса лишь незначительно улучшает качество кокса.

Степень измельчения коксовой мелочи оказывает большое влияние на получаемые результаты. Оптимальное измельчение ее зависит от состава шихты, но, как правило, характеризуется следующим образом: 100% ниже 0,5 мм; 80—85% ниже 0,2 мм; 50—60% ниже 0,1 мм. Степень измельчения добавляемого полукокса оказывает меньшее влияние на качество кокса.

Полукоксы, получаемый в псевдооживленном слое при 500°, несмотря на различие в структуре, оказывает влияние на качество кокса, подобное влиянию полукокса из вращающейся печи.

Грузон и Энгсхубер [182] провели в ползаводском масштабе опыты по добавлению буроугольного полукокса к саксонским газовым углям и получили значение показателя М-40 около 60%, в то время как прочность кокса из исходных углей без добавки полукокса составляла только 40%. Максимальное увеличение прочности кокса соответствовало 12—15% добавки, в то время как при добавке 5—7% полукокса прочность проходила через минимум. Величина отсева (показатель М-10) непрерывно уве-

личивалась с повышением количества добавляемого полукокса, а при оптимальной добавке составляла 17—23%. По-видимому, причиной этого являлась повышенная зольность использованного полукокса (20—25%).

Качество кокса из саксонских газовых углей также улучшается при добавке к ним 3—4% коксовой мелочи измельчения

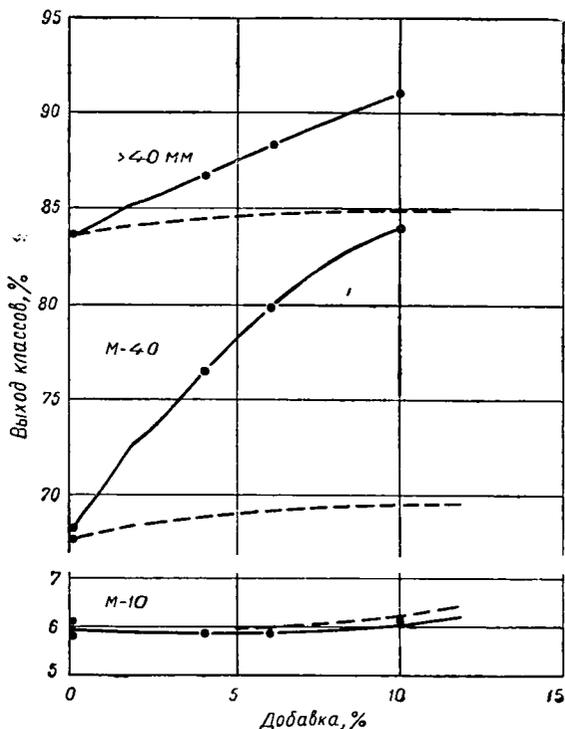


Рис. 8. Влияние добавления коксовой пыли и полукокса на механическую прочность кокса:

— коксовая пыль;
 - - - полукокс из вращающейся печи

80% под сито 1 мм [182]. Аналогичное действие оказывает и добавление мелочи высокотемпературного бурогоугольного кокса, получаемого на заводе в Лаухгамере.

Лабораторные опыты отощения рурских коксовых и газовых углей различными сортами бурогоугольного полукокса показали, что оптимальной является присадка в шихту 15—20% бурогоугольного полукокса. При коксовании сильно метаморфизованных каменных углей лучшей присадкой является полукокс с боль-

шим выходом летучих веществ, а при коксовании мало метаморфизованных газовых углей — полукокск с меньшим выходом летучих. При этом необходимо тонкое дробление шихты.

Полузаводской опыт подтвердил в основном результаты лабораторных испытаний. Выход кокса составил 70—80%, механическая прочность его оказалась удовлетворительной, пористость несколько меньше, чем у каменноугольного кокса, но реакционная способность выше. Зольность кокса была 10,5—11,7%. Основной характер золы кокса действует благоприятно на ее плавкость.

Сравнение различных присадок в шихту — каменноугольного кокса и полукокса и буроугольного полукокса — показало, что последний оказывает наилучшее действие на прочность кокса [184].

Имеются достаточно веские экономические предпосылки для применения полукокса в качестве компонента коксовой шихты [19]. Стоимость строительства полукоксовых установок в условиях южных районов СССР может быть в значительной степени компенсирована экономией на новом шахтном строительстве вследствие возможности замены строительства некоторых глубоких шахт на углях ОС закладкой менее глубоких шахт на длиннопламенных углях. Применение полукокса весьма перспективно для расширения сырьевой базы коксования.

Применение полукокса для целей производства металлургического кокса совершенно изменит современный характер, масштабы, географическое размещение заводов полукоксования и технико-экономические показатели этого процесса. До настоящего времени основной задачей полукоксования являлось получение жидких продуктов и их дальнейшая переработка; полукокск рассматривался как энергетическое топливо. Применение полукокса как отощающей присадки в угольных шихтах коксохимических заводов позволяет осуществить комплексное химико-технологическое использование бурых углей [19].

Желательно широко развернуть научно-исследовательские работы по применению полукокса как сырья для коксования.

Сравнительно большое внимание уделяется за рубежом вопросу использования коксовой мелочи в шихте для коксования. В Англии обычный метод использования коксовой мелочи состоит в тонком измельчении ее (не крупнее 0,8 мм) и прибавлении после этого непосредственно в шихту. До 83% английских коксохимических заводов работают на шихтах, содержащих около 4% коксовой мелочи.

Отошение углей коксовой пылью для улучшения качества кокса практикуется на ряде коксогазовых заводов США, например в Нью-Джерси, Нью-Гевене и Бостоне.

На коксогазовом заводе в Бостоне шихту для производства

доменного кокса составляют из следующих компонентов: 50% угля с выходом летучих 32%; 20% угля с выходом летучих 22—29%; 25% с выходом летучих 17% и 5% коксовой пыли.

В Советском Союзе опыты по использованию коксовой мелочи в шихте для коксования проводились еще тридцать лет назад [46].

Промышленные коксования шихт с участием 5% тонкоизмельченной коксовой мелочи были проведены УХИНОм в 1953 г. на Харьковском коксохимическом заводе. Испытаниями показано, что коксовую мелочь необходимо полностью дробить под сито 2 мм [60].

Ресурсы коксовой мелочи в Донбассе составляют около 7% от производства валового кокса, что равно примерно 5,5% по отношению к шихте, поступающей на коксование. Основным потребителем коксовой мелочи являются аглофабрики металлургических заводов (более 50% всех ресурсов). Механобр показал возможность замены коксовой мелочи, применяемой для агломерации руды, другими видами низкосортных топлив, в первую очередь антрацитовым штыбом.

В целях расширения сферы применения антрацита в черной металлургии научно-исследовательский угольный институт КНДР предложил использовать наряду с коксом антрацитовые брикеты, имеющие большую механическую прочность и теплоту сгорания в 6200—7000 ккал/кг. Исследования, проведенные на опытной однотонной доменной печи, показали, что добавление антрацитовых брикетов к металлургическому коксу не только ускоряет процесс плавки чугуна, но и повышает его качество [63].

Опытные коксования, выполненные в 1953 г. Харьковским углехимическим институтом [60], показали, что антрациты представляют собой худший компонент шихты для коксования, чем тощие угли, поскольку их использование усложняется более трудной дробимостью и связано с более ограниченными возможностями ввода антрацитов в шихту (до 5%). В шихте антрациты ведут себя, как и коксовая мелочь, т. е. являются инертной добавкой, не принимающей участия в процессе коксования.

Добавление железной руды

Первые заводские опыты по добавлению железных руд в шихту были проведены в России в 1905 г. Значительные работы по коксованию шихт с использованием порошка железной руды в качестве отощающей добавки были проведены под руководством Н. П. Чижевского. Полученный при этом продукт был назван железококсом.

Важные исследования по получению железокоса были проведены А. С. Бруком [16а, 16б]. В этих работах была дана теория

и практические предложения по производству железокочка, приведена его металлургическая характеристика.

Выработка железокочка и применение его в доменной печи имеют еще и то преимущество, что при этом используются отвалы колошниковой пыли и пылеватые руды без сооружения дорогих агломерационных установок.

Условия производства железокочка следующие: руда, предназначенная для производства железокочка, должна быть очень тонко измельчена. Чем мельче руда, тем лучше и однороднее получается смесь ее с углем. Чем мельче рудная часть шихты, тем большее количество ее может быть прибавлено к углю и тем более прочным получается кокс. Уголь также надо тонко измельчать, так как соприкосновение частиц руды и угля должно быть очень тесным. Достаточно хорошие результаты измельчения дает лезинтегратор.

Материалом для получения железокочка служит колошниковая пыль. Ее можно вводить без всякой предварительной обработки.

В зависимости от качества угольной смеси добавляют большее или меньшее количество руды и колошниковой пыли (например, до 30%). С увеличением этих добавок смесь получает большую усадку. Железокочк, по данным исследователей, выходил из печи легко и получался более крупным, чем при коксовании углей без руды.

При опытах на Щербиновской коксовой установке в Донбассе в 1934 г. в смесь углей марок Ж и К добавляли 30% пылеватой криворожской руды. Руда содержала 60—65% железа, 7—13,8% кремнезема. Кочк получился с барабанной пробой около 300 кг. Проба на сбрасывание дала вполне удовлетворительные результаты. Кочк, полученный из смеси с содержанием 42% руды, при испытании на сбрасывание с высоты 2 м дал 80—85% кусков крупнее 25 мм. Кочк получался прочный, серебристого цвета, крупный. Поперечная трещиноватость была выражена слабо. Железо во время коксования восстанавливается на 98%.

В 1935 г. железокочк производился на Константиновском коксохимическом заводе. Колошниковая пыль с содержанием 60% железа добавлялась к углю марки Ж в количестве 30%. При этом получался крупный кочк; мелочи было 3,5—4%. Содержание серы в кочке было несколько повышенным из-за присутствия руды, которая связывает серу. Барабанная проба при 30%-ной добавке колошниковой пыли равнялась 300—305 кг.

Кочк опробовали в доменной печи завода им. Фрунзе полезным объемом 365 м³ и высотой 20 м. Железокочк вводили в шихту постепенно, начиная с 20% от количества кочка шихты и доводя его содержание до 77% от кочка. Работа доменной печи была вполне нормальной. За время опытов было получено 800 т

кондиционного чугуна. Колошниковый газ содержал 6,6—10,4% CO_2 , 30—32,45% CO и 1,03—2,31% H_2S . Расход кокса на 1 т чугуна составил 0,974 т.

В 1936—1937 гг. опыты получения железокочка в промышленном масштабе проводились также на Макеевском и Ново-Смоляниновском коксохимическом заводах.

За рубежом исследования по производству железокочка велись главным образом в Германии в начале тридцатых годов, а в послевоенные годы — в Западной Германии. С 1953 г. начали проводить некоторые опыты в Англии и обширные исследования в США.

Интерес, проявляемый в США к вопросу получения железокочка, следует объяснить трудностями окискования весьма тонко измельченного концентрата таконита. Наличие в США больших запасов хорошо спекающихся углей с высоким выходом летучих создает благоприятные условия для производства из этих углей железокочка с добавкой таконитовых концентратов. Копперс Компани провела большое количество ящичных коксований, которые показали, что в зависимости от выхода летучих и спекаемости углей к ним можно добавлять до 45% таконита, 35% магнетита, 35% колошниковой пыли и 30% гематита. При таких добавках железных руд получается кокс удовлетворительной механической прочности. Обычно по мере увеличения присадки прочность кокса падает, но для некоторых углей добавление 10—20% руды повышает механическую прочность кокса. Опыты, проведенные в США, подтвердили результаты, полученные советскими исследователями. Опытное получение железокочка было проведено на отдельной батарее из пяти печей в Сент Поле [48].

Вслед за этим на заводе Рипабллик Стил Корпорейшн в Кливленде были проведены в промышленном масштабе опыты по производству железокочка [226]. Лабораторные эксперименты в печи с подвижной стенкой Копперс Компани показали возможность получения из смеси 60% питтсбургского угля и 40% таконитовой руды железокочка удовлетворительного качества. Намечено было организовать суточное производство 420 т железокочка в выделенных для этой цели 25 печах. В расчетах были приняты: вес загрузки 22,5 т, время коксования 22,5 часа и выход годного продукта 70%.

Еще одно преимущество производства железокочка, помимо агломерации пылеватых железорудных концентратов, состоит в возможности получения крупного прочного кокса из высоколетучих углей. Применяемые таконитовые концентраты содержат около 63% железа и состоят из частиц размером 0,5 мм и мельче. При коксовании угольнотаконитовой смеси соответственно был отрегулирован режим обжига печей, учитывая, что разо-

вая загрузка примерно на 30% тяжелее обычной и что, кроме того, необходимо тепло для реакций восстановления окислов в металлическое железо. Во время коксования в печь не должен попадать воздух во избежание горения кокса и образования участков высокой температуры, где окислы железа могут ошлаковывать динасовый кирпич стен. При периоде коксования 22,5 часа средняя температура накала вертикалов составляла 1200° с машинной стороны и 1370° с коксовой. Полученный железоккок был в кусках характерного квадратного сечения размером в отдельных случаях до 300 мм в поперечнике, плотный, без трещин. Испытания на дробимость показали высокую прочность железоккокса, причем получение 31% кусков меньше 6 мм указывает на то, что здесь происходило скорее истирание, чем дробление. В железоккоксе содержится железа (металлического и в окислах) около 35%, углерода около 46%, серы 0,82%, воды 5%. После тушения водой металлическое железо в коксе несколько окисляется и кокс получается с ржавой поверхностью. Эксперименты с образцами, охлаждающимися в песке, показали наличие в них 75% металлического железа, тогда как в железоккоксе, охлажденном водой, содержание железа не превышает 38%. В составе получающихся газов — высокий процент окиси углерода (около 27%).

Производимый железоккок загружался в доменную печь завода Рипаблик Стил Корпорейшн в Кливленде объемом больше 1500 м³. Результаты месячной кампании показали, что экономия кокса составила в среднем 40,5 кг/т чугуна. Производительность печи не повысилась.

Согласно двухлетнему опыту производства железоккокса на металлургическом заводе в Бостоне (США) добавление 20% рудной пыли в угольную шихту понижает индекс М-40 с 80 до 75% и повышает индекс М-10 с 6 до 9%. Доменная печь работала на шихте с 40% железоккокса без ухудшения показателя [213].

Добавление железной руды удлиняет период коксования, поскольку требуется дополнительное тепло для восстановления железа. Равный период коксования может быть достигнут при условии выдачи железоккокса при 900° и обычного кокса при 1080°. В этих условиях железо восстанавливается примерно на 80%. Добавление железной руды в шихту увеличивает размеры кусков кокса, но одновременно повышает его истираемость.

На двух батареях коксовых печей в Эверет (штат Массачусетс, США) длительное время проводятся опыты по производству железоккокса и использованию его в доменной печи [177]. В настоящее время производится более 60 тыс. т железоккокса в год. При этом железоккок составляет 60% всего кокса, загру-

жаемого в печь. В дальнейшем предполагается полный перевод печи на железо.

Железококк производится в печах Копперса-Беккера объемом 20,7 м³ и шириной 463 мм; вес разовой загрузки шихты — 19 т. Для предотвращения образования фаялита, получаемого сплавлением окиси железа с кремнием при температуре 1170°, первое время был установлен период коксования 23,5 часа. Примерно через два месяца работы его удалось сократить до 21 часа. За 23 месяца непрерывного производства железококка не было замечено никаких следов оплавления или повреждения стенок камер.

При содержании в шихте 20 % колошниковой пыли производительность коксовых печей по углю сократилась на 15%. Количество и состав коксового газа, а также выходы смолы и сульфата аммония примерно те же, что и при производстве обычного металлургического кокса. Железококк содержит 12,4% железа, в том числе 7,5% металлического железа. По своим физическим свойствам железококк превосходит обычный металлургический; он отличается повышенной прочностью, большей величиной кусков, правильностью их формы.

После хранения железококка в течение года около половины металлического железа его переходит в окислы, но физические свойства железококка со временем не изменяются.

Использование железококка в доменной печи дало весьма удовлетворительные результаты и оказалось наиболее экономичным методом использования колошниковой пыли. Качество чугуна при работе на шихте, содержащей 50% железококка от всей коксовой части, не изменилось по сравнению с периодами работы на обычной шихте.

В докладе на съезде металлургических обществ в Дюссельдорфе (июнь 1955 г.) излагались требования к сырью при производстве железококка для доменных печей. Легковосстановимые руды в процессе коксования быстро теряют свой связанный кислород, что нейтрализует содержание битума в угле. При этих рудах понижается выход смолы и бензола. С другой стороны, трудновосстановимые руды во время коксования ведут себя как инертный материал. Поэтому в больших количествах они могут вводиться в смесь при наличии достаточного количества спекающегося угля.

Интенсивные исследования по производству железококка проводятся также в ФРГ. После обширных лабораторных исследований с различными углями и рудами было проведено несколько опытных коксований в небольшом масштабе (около 600 т железококка) в печах различной ширины. В 1954 г. на коксохимическом заводе Проспер в Боттропе было изготовлено свыше 10 тыс. т железококка. Исследованиями было установле-

но, что для получения прочного железокочка пригодны малометаморфизованные угли с хорошей спекаемостью.

Добавление к спекающимся углям с высоким выходом летучих измельченной руды повышает прочность получаемого кокса. Так, например, при уменьшении жирности вальсумского угля путем добавки к нему 5% по весу (10% по объему) коксовой мелочи прочность получаемого кокса повышается лишь на 7%. Если же к этому углю добавить около 20% по весу (т. е. те же 10% по объему) пылеватой руды, то железокочек из такой смеси приобретает прочность доменного кокса [11].

В Чехословакии был также проведен ряд опытов промышленного масштаба по добавлению коллоидной пыли в шихту [176]. Во всех случаях отмечалось повышение прочности кокса по микум-барабану, причем качество кокса зависело не только от количества добавляемой пыли, но и от степени измельчения ее.

В Корейской Народно-Демократической Республике производство железокочка освоено в промышленном масштабе [63]. После проведения исследований на опытной коксовой установке металлургического завода в Хванхе с июня 1959 г. работы были перенесены на коксовую батарею завода. Применение железокочка в выплавке чугуна позволяет сократить удельный расход топлива в домне на 15—20%. При внедрении железокочка в производстве чугуна возникает реальная возможность замены дефицитных коксовых и жирных углей более дешевыми газовыми или местными бурными углями. Как показали лабораторные испытания на металлургическом заводе Хванхе, при включении 10—30% пылеватых магнетитовых руд в шихту с большим содержанием местных спекающихся углей получается железокочек, пригодный для выплавки передельного чугуна.

Наиболее пригодной рудой для производства железокочка является магнитный железняк Fe_3O_4 . Руда эта до температуры пластичности угля с химической точки зрения более или менее нейтральна, но в качестве тонкоизмельченного наполнителя она оказывает физическое влияние на процесс коксования, заключающееся в увеличении насыпного веса и в повышении температуропроводности. Оба этих фактора способствуют улучшению качества кокса.

Имеются указания [142] на то, что из малометаморфизованных углей с добавкой руды, отвечающей составу Fe_3O_4 , может быть получен удовлетворительный металлургический кокс без участия в шихте коксовых углей.

Физико-механические свойства железокочка в значительной степени зависят от степени измельчения железной руды и равномерного ее перемешивания с углем. Механизм сегрегации

рудоугольной смеси отличается от явления сегрегации обычной угольной шихты. Как показали исследования К. И. Сыскова и Цзи-Ляна [101], более крупные частицы угля при высыпании рудоугольной смеси стремятся располагаться в периферийных частях, а руды благодаря большему удельному весу — во внутренней части насыпной массы смеси. Для уменьшения степени сегрегации рудоугольной смеси при заполнении и опораживании контейнеров и при ее транспортировании целесообразно применять руду тонкого измельчения (крупностью не больше 1 мм), что благоприятствует использованию концентратов руд.

Баркинг и Эйман [143] в результате добавки масла к шихте получали стойкие рудоугольные смеси с равномерным распределением пылеватой руды или колошниковой пыли в измельченном угле. Такие смеси не сегрегировали даже при неоднократной перегрузке и сильном встряхивании.

Смачивание углерудной смеси незначительными количествами масел способствует, с одной стороны, еще большему повышению ее насыпного веса, с другой — препятствует сегрегации смеси и несколько ослабляет специфическое действие руды.

Присадка 50% тонкоизмельченного магнитного железняка к некоторым углям позволяет получить железококс удовлетворительного качества с равномерным распределением железа, плотно покрытого коксом. При присадке даже в небольших количествах (5%) руд, легко отдающих свой кислород, кокс удовлетворительного качества не получается вследствие потери спекаемости угля.

Качество железококса определяется его способностью сохранять свою прочность в доменной печи в условиях вторичного нагревания до высоких температур. Опыты О. В. Вербицкой и К. И. Сыскова [18] показали, что прочность кокса, полученного из предварительно кускованных шихт, содержащих 20—40% руды, при вторичном нагревании до 1400° значительно понижается. Степень падения прочности сильно уменьшается при добавлении в шихту примерно 5% извести.

Пригодность железококса для доменной плавки определяется не только его механическими свойствами, но и поведением его в доменной печи. Железококс должен обладать механической прочностью не только при загрузке в доменную печь, но и после восстановления железной руды, входящей в его состав. Поскольку железококс поступает в печь, имея в своем составе не полностью восстановленную руду, восстановление руды до металла за счет углерода кокса начинается лишь на горизонте с температурой выше 900°. По мнению М. С. Курчатова [203], при добавке руды в количестве более 30% восстановление будет сопровождаться значительным расходом углерода кокса,

которое повлечет за собой резкое ослабление структуры кусков кокса.

М. С. Курчагов приходит к недостаточно обоснованному выводу о том, что получение железокочка в коксовых печах и применение его в доменной плавке нецелесообразно. Гораздо более эффективны, по его мнению, рудугольные брикеты (см. гл. VIII, § 1), приготовленные с таким расчетом, чтобы количество горючего в исходной шихте не превышало необходимого для восстановления руды. Однако М. С. Курчагов не принимает во внимание весьма существенные проблемы стоимости способов изготовления рудугольных брикетов.

В ближайшем будущем черная металлургия станет перед задачей обогащения почти всей железной руды. Обогащение магнитных железняков потребует очень тонкого их измельчения. Рациональным способом окучковывания концентратов может явиться получение из них железокочка.

Следует провести исследования по окучковыванию и восстановлению порошковых руд и концентратов путем присадки в шихту коксовых печей не только железных, но также марганцовистых и хромистых руд [48].

Производство железокочка из хорошо спекающихся, чистых по сере газовых углей открывает значительные перспективы увеличения ресурсов углей для коксования.

При производстве железокочка значительная часть введенных в него окислов железа восстанавливается до металла, что позволяет, учитывая повышенный расход тепла на производство железокочка при доменной плавке, сэкономить 5—6% горючего.

Добавление железосодержащих материалов в угольную шихту не сокращает выхода химических продуктов коксования (кроме аммиака), значительно увеличивает выход газа и содержание в нем окиси углерода при некотором уменьшении теплоты сгорания.

Можно считать перспективными два пути использования железных руд в угольных шахтах для коксования с целью улучшения качества кокса:

1) получение железокочка из шихт с большим содержанием малометаморфизованных углей путем добавки значительных количеств тонкоизмельченной магнетитовой руды;

2) замена предварительного окисления шихты добавкой 1—3% тонкоизмельченной окиси железа.

В последние годы ведутся исследования по решению проблемы железокочка на новой технологической основе: ведения доменной плавки на брикетах из смеси угля и железной руды (см. гл. V) или смеси угля, железной руды и флюса (см. гл. VIII).

Глава IV

УЛУЧШЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОДГОТОВКИ УГЛЕЙ

1. ОБОГАЩЕНИЕ УГЛЕЙ

Роль обогащения углей в расширении их ассортимента для коксования весьма велика. Проведенными исследованиями [80] убедительно доказано, что при глубоком обогащении углей существенно улучшается их коксуеть и резко снижается содержание серы. Это дает возможность привлечь для коксования слабоспекающиеся и сернистые угли.

Улучшение коксуеть углей в результате их обогащения было установлено для углей ряда месторождений СССР [112]. Для донецких углей понижение зольности кокса на 1% приводит к увеличению индекса барабанной пробы примерно на 5 кг. Было установлено также улучшение коксуеть кузнецких углей по мере углубления степени их обогащения.

Причина отрицательного действия зерен породы на механическую прочность кокса заключается преимущественно в появлении дополнительных напряжений и неправильно ориентированной трещиноватости.

Однако задача обогащения углей для коксования до настоящего времени решается недостаточно удовлетворительно. До сих пор не используется для коксования значительное количество отсевов донецких газовых углей из-за трудности обогащения их на действующих фабриках в смеси с другими углями. Недостаточность действующих мощностей обогатительных фабрик приводит к тому, что, например, в Донецком бассейне не используется более 4 млн. т труднообогатимых и сравнительно зольных жирных углей.

Следует считать наиболее перспективным комбинированный метод обогащения углей для коксования: обогащение крупных классов угля (более 6—10 мм) в тяжелых суспензиях, мелких классов — в отсадочных машинах, пыли и шламов — путем флотации. Для обогащения высокосернистых, труднообогатимых углей перспективно применение центробежного метода [30].

С точки зрения рассматриваемой проблемы петрографическое обогащение углей представляет особый интерес. К периоду тридцатых годов относятся работы Л. М. Майера [64—66],

который, учитывая различные свойства петрографических составляющих угля, пытался улучшить коксующую способность путем соответствующего обогащения тем или иным компонентом. Свои исследования Л. М. Майер проводил с донецкими углями.

Проведенные лабораторные исследования показали возможность и целесообразность петрографического обогащения некоторых углей Донбасса. В Донбассе есть угли, которые дают большое количество угольной пыли, содержащей много фюзена (угли Гришинского месторождения содержат до 9% фюзена). Удаление фюзена из такой пыли позволит использовать ее для коксования. Однако результаты этих исследований не были внедрены в промышленность.

И. Е. Коробчанский с сотрудниками [49] исследовал процесс избирательного дробления некоторых углей Донецкого бассейна в дробилке центробежного действия. В результате многократного дробления и грохочения из дробилки выводятся три фракции: мелкая фракция, обогащенная блестящими компонентами, крупная фракция, обогащенная матовым углем и породой, и пыль, богатая фюзеном и витреном. Как показало исследование, при соответствующем режиме дробления можно получить:

а) фракцию блестящего угля с выходом до 80% от дробленого угля, имеющую повышенное содержание витризированного вещества и пониженные зольность и сернистость;

б) фракцию матового угля с выходом до 20—30% с повышенными зольностью и сернистостью;

в) сажистую фракцию с повышенным содержанием фюзена.

Блестящие фракции представляют значительно лучшее сырье для коксования, чем применяемые в настоящее время рядовые угли. Матовые фракции могут быть использованы для коксования только после обогащения обычными методами. В зависимости от зольности и содержания споровых элементов они могут быть использованы для полукоксования или (в смеси с сажистой фракцией) как энергетическое топливо.

М. Ю. Григорьевым [23] в Кузнецком бассейне проведены работы по петрографическому обогащению углей в укрупненном масштабе. В пределах Кузбасса развиты три угленосные свиты, сильно отличающиеся друг от друга по петрографическому составу. Петрографическая структура угольных пластов является одним из главных факторов, определяющих технические свойства углей. Понятно, что последние могут быть улучшены путем петрографического обогащения углей отдельных свит.

Проведенные М. Ю. Григорьевым исследования показали, что даже энергетические угли при глубоком обогащении могут дать концентрат, пригодный для коксования. Кроме того, петрографическое обогащение сопровождается удалением золы, так как витреновый концентрат всегда наименее зольный.

М. Ю. Григорьевым разработана схема петрографического обогащения углей Кузбасса, которая сочетает в себе избирательное дробление с обогащением в тяжелых жидкостях. Для избирательного дробления служит дробилка барабанного типа конструкции КузНИУИ. Испытание этой дробилки дало положительные результаты, и в настоящее время ведутся работы по внедрению метода петрографического обогащения в промышленность.

В последнее время М. Г. Ельяшевич [37] обратила внимание на принципиальную возможность улучшения качества углей путем флотационного обогащения. В частности, она показала, что введением при флотации минеральных солей или содовой воды можно значительно изменять спекаемость флотоконцентрата путем обогащения его витреном. Полученная порода состоит из углестоглинистого вещества со включениями фюзена и пирита. Значительная часть серы переходит в фюзенизированный концентрат и породу. Результаты, полученные при опытах флотации угольной мелочи Чумаковской ЦОФ, были подтверждены также и при флотации мелочи Кальмиусской ЦОФ.

Для исследования селективности флотации петрографических разновидностей М. Ю. Григорьевым и Е. Ф. Подбельской [24] были взяты кузнецкие слабоспекающиеся угли (марка СС) и карагандинский уголь пласта Верхняя Марианна. Реагентом служили сульфированный керосин с добавкой контакта Петрова и сосновое масло. Как показали результаты опытов, спекаемость первых продуктов флотации выше, чем спекаемость последующих. Скорость флотации кузнецкого и карагандинского углей определяется петрографическим составом и крупностью. Обнаружена селективная флотация: сначала флотируются зерна блестящих и близких к ним разновидностей угля и затем зерна матовых разновидностей. Частицы угля класса $<0,25$ мм практически не обогащаются по петрографическим компонентам. Предварительное выделение этого класса дает возможность усиления селективности флотации остающейся части угольной мелочи. Существенное влияние на селективность флотации петрографических компонентов должна иметь их зольность, обычно низкая у блестящих и высокая у матовых углей.

Таким образом, не вызывает сомнения возможность разделения петрографически неоднородного угля методом флотации на составляющие его разновидности.

В Кузнецком бассейне в последнее время в эксплуатацию вводится ряд крупных углеобогачительных фабрик, оборудованных флотационными отделениями. Флотация пыли и шлама на этих фабриках позволит существенно улучшить качество концентрата, используемого для коксования, и расширить ресурсы коксующихся углей.

Кроме снижения зольности при флотации углей с пониженной спекаемостью, должна быть поставлена задача извлечения в концентрат наиболее спекающейся части угля.

Флотационный метод обогащения должен рассматриваться как метод, при котором происходит не только обеззоливание и частично обессеривание, но и как процесс, при котором можно получить продукты, представленные различными петрографическими компонентами. Для отдельных пластов слабоспекающихся углей с ярко выраженной петрографической неоднородностью, этот метод следует использовать для выделения блестящих компонентов, обладающих повышенной спекаемостью.

Необходимо, чтобы при расширении флотации углей (а это пока единственный метод обогащения тонких классов угля) одновременно строились термосушка или другие эффективные устройства для снижения влажности флотоконцентрата.

2. УСРЕДНЕНИЕ УГЛЕЙ

Тщательное усреднение углей для коксования открывает значительные перспективы улучшения качества кокса.

На коксовой установке шахты Робена (США) введена в действие усреднительная установка, в которой дробленый уголь подается в надземный усреднительный бункер, состоящий из 168 ячеек, расположенных в шесть рядов (по 28 ячеек в каждом). Емкость одной ячейки — 97 т. В одну операцию загрузки бункера заполняют два смежных продольных ряда ячеек (56 ячеек). Во время загрузки этих двух рядов ячеек из других двух рядов уголь выгружают. Остальные два ряда являются резервными и служат для компенсации неравномерности поступления угля из шахты. Уголь выдается из бункера с помощью затвора, обслуживающего четыре ячейки.

Усреднительный бункер из 168 ячеек применен также на углеобогатительной фабрике в Ла-Бель (Пенсильвания).

В США во многих случаях угли, идущие на коксование, обогащают специально для уменьшения диапазона колебаний содержания в них золы и серы. Это делают также в тех случаях, когда в результате обогащения среднее содержание золы и серы в углях незначительно снижается [69].

Существенное расширение ассортимента углей, используемых для коксования, может быть достигнуто путем полного смешения компонентов шихты, устранения их сегрегации в угольной башне и загрузочном вагоне. Для этого, в частности, рекомендуется подавать уголь на верх угольной башни и распределять таким образом, чтобы исключить образование центрального внутреннего конуса, способствующего сегрегации. С этой целью при-

меняют качающийся и вращающийся круговой питатель. Кроме того, каждый загрузочный вагон должен иметь вибратор.

Для загрузки силосов углем обычно применяются качающиеся питатели; выдача углей из бункеров производится с помощью ленточных питателей (вибрационные питатели и дозирочные столы не применяются). Большое внимание уделяется смешению и усреднению качества углей при их складировании. Для забора углей со штабелей во избежание сегрегации вместо грейферов применяется специальная машина.

В последнее время в шихту Нижне-Тагильского коксохимического завода вводятся слабоспекающиеся угли марки СС. Это удалось осуществить преимущественно путем повышения степени усреднения углей на всех этапах углеподготовки [121]. В частности, степень усреднения в штабелях увеличилась по сравнению с 1954 г. на 27%. Устройство регулирующих помол окон в молотковых дробилках повысило стабильность измельчения отдельных компонентов и шихты в целом; улучшено измельчение труднодробимых углей группы СС и К-2. Одновременно с этим была достигнута равномерность обогрева коксовых печей по высоте и длине камер.

П. А. Байдалинов [12] считает, что угли, получаемые с ЦОФ, в процессе обогащения столь значительно усредняются, что дальнейшее выравнивание качества их возможно лишь способами, более эффективными, чем усреднение в открытых штабелях грейферными кранами. Тот же автор утверждает, будто в последующих фазах подготовки шихта претерпевает такое изменение, что предварительное усреднение угля на складе практически уже не влияет на конечные показатели качества шихты.

В противовес этому Я. М. Обуховский [79] показал, что поступающие на коксохимические заводы угли характеризуются большим недостоянием качества. Необходимо стремиться к усреднению всех поступающих углей на складах. Для этого следует максимально использовать бункера дозирочного отделения. На коксохимических заводах, имеющих обогатительные фабрики, рационально строить усреднительные станции бункерного типа для усреднения шихты перед подачей ее в угольные башни. Для усреднения качества кокса на различных блоках коксовых печей рекомендуется устанавливать всевозможные смесительные машины для смешения шихты перед делением потока ее на угольные башни.

В. Л. Кроть [50] также показал, что для обеспечения тщательного усреднения углей необходим склад-усреднитель: в схеме с углеобогатительной фабрикой — склад для рядовых углей, а в схеме без обогатительной фабрики — склад для концентрата, полученного из отдельных шахт.

При транспортировании от дозирочного отделения угле-

подготовительного цеха до угольной башни шихта не только не усредняется, но и имеет тенденцию разусредняться. Для сохранения полученной степени усреднения шихты после смесительной машины необходимо тонко измельчать шихту во избежание ее сегрегации, либо установить по пути ее на угольные башни дополнительные смесительные машины.

3. УВЕЛИЧЕНИЕ НАСЫПНОГО ВЕСА УГЛЕЙ

Влияние различных факторов на величину насыпного веса

Вес единицы объема дробленого угля, загруженного в какую-нибудь емкость, называют насыпным весом. Насыпной вес угля определяется объемным весом угольных частиц и степенью заполнения объема этими частицами:

$$\gamma = f(d, \rho), \quad (1,IV)$$

где γ — насыпной вес дробленого угля;

d — объемный вес угольных частиц;

ρ — часть объема емкости, занятая угольными частицами (степень заполнения).

Величина объемного веса угольных частиц определяется природой угля и его зольностью. При постоянном значении объемного веса угольных частиц насыпной вес будет зависеть только от степени заполнения пространства угольными частицами. Степень заполнения объема угольными частицами определяется многими факторами: количеством и состоянием влаги в угле, его ситовым составом, условиями загрузки и т. п. и может быть найдена из выражения

$$\rho = \frac{\gamma}{d}. \quad (2,IV)$$

При отсутствии пустот между угольными частицами, т. е. когда материал представлен в виде сплошного куска, заполняющего данный объем, насыпной вес достиг бы величины, численно равной значению объемного веса.

Если все частицы угля представить в виде шаров одинакового размера, то насыпной вес получит минимальное значение. При этом объем пустот не зависит от диаметра шаров и составляет при различных системах укладки от 47,6 до 26,0%.

Угольная смесь состоит из различных по форме и размеру частиц, поэтому меньшие из них могут располагаться в промежутках между большими и тем самым уменьшать объем пустот. Вместе с тем мелкие частицы могут вклиниваться между большими, раздвигать их и таким образом увеличивать объем пустот.

Насыпной вес угольной смеси, загруженной в камеры коксовых печей, не одинаков и в среднем колеблется в пределах от 0,7 до 0,85 т/м³. Следовательно, действительный насыпной вес дробленой угольной смеси, загруженной в камеру, далеко не достигает величины объемного веса углей.

Методика определения насыпного веса угля

При незначительных колебаниях полноты загрузки камеры можно предположить наличие в определенный промежуток времени прямой пропорциональности между величиной средней разовой загрузки и действительным средним насыпным весом угольной смеси в камерах коксовых печей. Следовательно, для определения вида связи между средними значениями условной величины насыпного веса, найденными при помощи лабораторных аппаратов, и действительным насыпным весом в камере можно ограничиться сопоставлением средних величин разовой загрузки угольной смеси в камеры коксовых печей и соответствующих значений условной величины насыпного веса.

Результаты экспериментов Р. Н. Питина [7], проведенных на трех коксохимических заводах с различными лабораторными аппаратами для определения условной величины насыпного веса, свидетельствуют о наличии прямолинейной связи между значениями насыпного веса, определенных при помощи различных лабораторных аппаратов, и величиной средней разовой загрузки в камеры коксования.

Таким образом, для целей контроля насыпного веса в производстве, а также при исследовании вопросов об изменении насыпного веса как функции различных факторов достаточно определять его величину при помощи лабораторного аппарата; полученные величины будут пропорциональны действительному среднему насыпному весу угольной смеси в камере коксовой печи.

Опытные данные свидетельствуют о том, что наличие связи между насыпным весом в камере и величиной насыпного веса, определенной в лабораторном аппарате, не зависит от конструкции аппарата; последней определяется только численное выражение для этой связи. Независимость указанной связи от конструкции аппарата дает возможность отказаться от попыток получить в нем величину насыпного веса, равную средней величине насыпного веса в камере коксовой печи.

Лабораторный аппарат для условного определения величины насыпного веса угольных смесей для коксования следует выбирать, исходя, очевидно, только из соображений простоты и удобства пользования им, при условии его достаточной чувствительности к изменениям насыпного веса, происходящим вследствие изменения различных факторов, оказывающих влияние на величину насыпного веса.

Известны специальные приборы, применяемые для определения насыпного веса сыпучих тел в промышленности строитель-

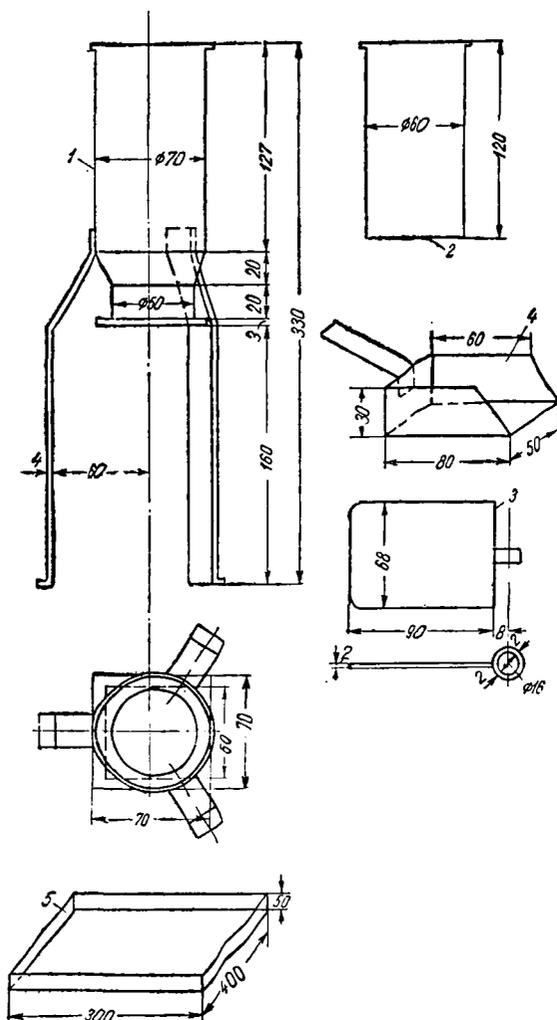


Рис. 9. Аппарат для определения насыпного веса угольной шихты

ных материалов и топливной промышленности. Размеры и формы этих приборов отличаются друг от друга, равно как и способы работы с ними.

Принципиальная идея всех этих аппаратов заключается в

определении веса сыпучих тел, насыпанных каким-либо определенным способом в известный объем. Исследования показывают, что найденное таким способом значение насыпного веса зависит от ряда конструктивных параметров аппарата и условий определения насыпного веса угля. Чтобы полученные значения были надежными, необходимо, чтобы влияние этих условий было определенным и одинаковым во всех случаях. При этом следует учитывать также требования простоты в изготовлении аппарата и удобства работы с ним.

На рис. 9 изображен один из аппаратов, принятых для определения насыпного веса угольной шихты обычного дробления [7].

Аппарат изготавливается из белой жести толщиной 0,5 мм, причем места соединений припаиваются. Он состоит из бункера 1 для загрузки угля, представляющего собой цилиндр, имеющий внизу сужение, которое оканчивается выдвигающимся затвором 3. Бункер установлен на трех ножках. Точно по оси под бункером ставится приемник 2, представляющий собой сосуд цилиндрической формы. Все это располагается на железном противне 5. Для наполнения бункера углем служит совок 4, для перемешивания пробы применяется широкая металлическая линейка. Кроме того, необходимы технические весы с разновесом до 0,1 г и ведро с крышкой для хранения пробы угля. Для получения надежных результатов следует всякий раз точно придерживаться установленной методики определения насыпного веса.

На ряде заводов применяется аппарат для определения насыпного веса угольной смеси, отличающийся размером навески и высотой падения угля. Навеска угольной смеси в этом аппарате составляет 50 кг. Расстояние от нижнего края бункера до верхнего края приемного ящика (т. е. наименьшая высота падения угля) 1,8 м. Определение насыпного веса производится так же, как и в малом лабораторном аппарате. Величина насыпного веса, получаемая в большом аппарате, примерно на 10% выше, чем получаемая в малом аппарате, но все же, как правило, ниже показателей, получаемых в заводских печах. Поэтому при пользовании аппаратами обоих типов следует помнить, что определяемые при их помощи показатели отражают лишь относительное изменение величины насыпного веса угольной смеси. Последнее обстоятельство остается справедливым и для аппаратов по контролю насыпного веса угольной смеси для коксования, получившими распространение на коксохимических заводах США.

Зависимость насыпного веса от влажности

Одним из факторов, оказывающих наиболее существенное влияние на величину насыпного веса, является влажность угля.

Данные о влиянии влажности угля на его насыпной вес имеются в ряде работ [7—10].

При исследовании влияния влажности угля на величину его насыпного веса найдено, что при изменении влажности величина насыпного веса угля приобретает минимальное значение при содержании влаги около 6—10%. Влажность угля, соответствующая минимальному насыпному весу, меняется в зависимости от ситового состава угля.

Д. С. Дорофеев и другие изучили влияние влажности на насыпной вес угля. Они также провели опыты по определению насыпного веса угля в камере коксовой печи. Установлено, что минимальный насыпной вес угля в камере наблюдается при влажности его около 10%. Авторы пришли к выводу, что использование угольных смесей с влажностью около 3% дает возможность повысить производительность коксохимических заводов.

Таким образом, для насыпного веса дробленых углей, идущих на коксование характерно наличие минимума насыпного веса в определенном интервале влажности угля. Положение минимума в этом интервале изменяется в зависимости от ситового состава угля. Для более тонкого измельчения угля минимум насыпного веса достигается при более высоком значении влажности.

Левен [10] делает попытку объяснить влияние влажности угля на величину его насыпного веса следующим образом.

Увеличение количества влаги в загрузке угля вызывает повышенное вовлечение воздуха в загрузку, так как вода, связывая между собой угольные частицы, образует между ними воздушные пространства соответственно содержанию влаги. В силу увеличенного содержания воздуха насыпной вес угля понижается. Однако обволакивающее действие воды ограничено, и если ее содержание достигло такой величины, что она не может более прилипнуть к поверхности угольных частиц, то, собираясь каплями между последними, она вытесняет часть воздуха. При дальнейшем увеличении содержания воды она перестает служить оболочкой для пузырьков воздуха, но увеличивает вес массы, и в то же время как объем остается постоянным, насыпной вес угля повышается.

Эти рассуждения Левена относятся, собственно, к той области влажности угля, когда содержание воды таково, что она уже может образовывать вместе с угольными частицами замкнутые пространства. Таким образом, давая объяснение восходящей ветви кривой на графике насыпной вес — влажность, автор никак не объясняет нисходящей ветви кривой. Кроме того, весьма мало вероятным представляется утверждение, что при изменении влажности угля объем массы остается постоянным.

Г. Думметт и Г. Гринфильд [7] указывают, что тот или иной

насыпной вес угля является результатом взаимодействия трех факторов:

- 1) веса угля и воды (сила, сжимающая уголь);
- 2) упругости воды, угля и воздуха (сила, разрыхляющая уголь);
- 3) поверхностного натяжения воды.

Приведенные материалы свидетельствуют об исключительно большом влиянии влажности угля на величину его насыпного веса. Кроме того, она оказывает весьма существенное влияние на повышение насыпного веса угля, в частности на увеличение насыпного веса угольной смеси методом обработки органическими жидкостями.

Для исследования зависимости насыпного веса угля различной влажности от добавки керосина была проведена серия опытов по определению насыпного веса дробленого угля различной влажности, как обработанного, так и не обработанного добавками керосина [10]. Опыты проводились с угольной смесью Кемеровского коксохимического завода.

Проба смеси, доведенная до заданной влажности, служила для определения ее насыпного веса без добавок и с добавками керосина в количестве 0,06; 0,1; 0,15; 0,2; 0,3; 0,5; 1 и 2% (вес.).

Полученные данные представлены на рис. 10. На графике изображены две кривые, на которых нижняя выражает зависимость насыпного веса не обработанной керосином угольной смеси от ее влажности, а верхняя — зависимость между насыпным весом смеси, обработанной оптимальным количеством керосина, и ее влажностью. Под оптимальным количеством керосина понимается то количество, которое, будучи прибавлено к смеси, вызывает при соответствующем смешении с последней максимальное увеличение насыпного веса при данной влажности.

Кривые зависимости насыпного веса от ее влажности в соответствии с данными других исследователей обнаруживают существование минимума насыпного веса при определенном содержании влаги. Для данной смеси этот минимум соответствует интервалу значений влажности от 9 до 11%. При переходе к смесям с содержанием влаги больше указанных значений насыпной вес постепенно увеличивается. При уменьшении влажности, начиная с величины, соответствующей минимуму насыпного веса, и до 3—2%, наблюдается резкое увеличение насыпного веса. С дальнейшим уменьшением влаги его возрастание прекращается, и при влажности от 2—1% до нуля насыпной вес принимает примерно постоянное значение.

Кривые максимального насыпного веса смеси, обработанной оптимальным количеством керосина, показывают аналогичную зависимость от влажности, располагаясь выше кривых насыпного веса не обработанной керосином угольной смеси. Таким обра-

зом, на графиках отрезки ординат между обеими кривыми соответствуют максимальному приросту насыпного веса вследствие обработки угольной смеси керосином. Нетрудно заметить, что величина максимального прироста насыпного веса также изменяется в зависимости от влажности исходной смеси, принимая большие значения примерно при минимальном насыпном весе не обработанного керосином угля и уменьшаясь при переходе к более высоким значениям насыпного веса.

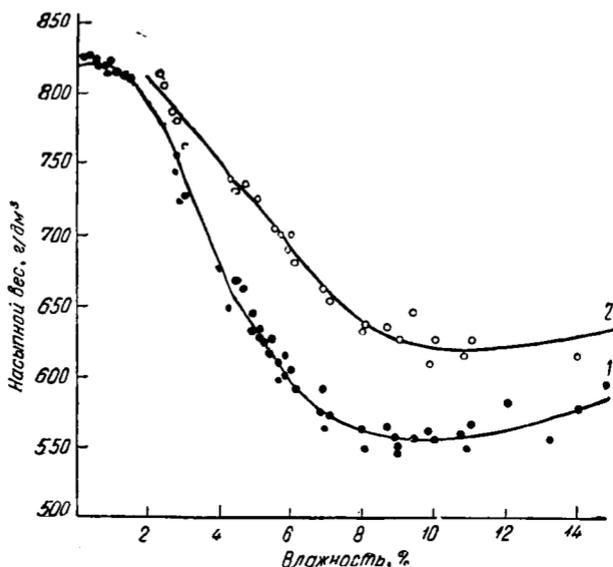


Рис. 10. Зависимость насыпного веса угольной шихты Кемеровского завода от влажности:
1 — шихта без добавки керосина; 2 — шихта с оптимальным количеством керосина

На рис. 11 представлена зависимость между влажностью той же угольной шихты и оптимальным количеством керосина. Из рассмотрения этого графика следует, что с увеличением влажности возрастает количество керосина, необходимое для достижения максимального прироста насыпного веса.

Таким образом, влажность углей определяет не только области повышения и понижения насыпного веса и его максимального прироста при обработке керосином, но и количество керосина, потребное для достижения этого прироста. Увеличение насыпного веса с уменьшением влаги в пределах рабочих значений влажности для углей, обработанных керосином, хотя и меньше, чем для необработанных, но абсолютные значения насыпного веса обработанных керосином смесей оказываются вы-

ше, чем соответствующие насыпные веса смесей, не обработанных керосином.

Очевидно, что наличие влаги в угле в известном интервале обуславливает появление некоторых сил, препятствующих смеси дробленых углей принимать более плотную укладку. С этой точки зрения обработку смесей керосином можно рассматривать как мероприятие, ослабляющее влияние влажности на насыпной вес. Это подтверждается еще и тем, что при добавке керосина

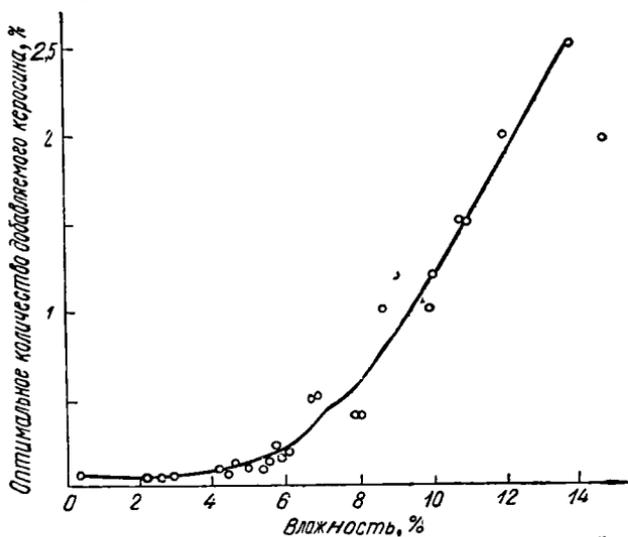


Рис. 11. Зависимость между влажностью шихты и оптимальным количеством керосина

насыпной вес начинает увеличиваться только при влажности, превышающей 1—2%, когда влага начинает уменьшать насыпной вес, т. е. добавка керосина нейтрализует часть вредного влияния влажности на величину насыпного веса.

Обращает на себя внимание тот факт, что, несмотря на одинаковый характер зависимостей, полученных для различных угольных смесей, все же абсолютные значения насыпных весов, их максимальный прирост и положение минимума получаются различными. Объяснение этого явления необходимо искать в различии природы и способов предварительной обработки угольных смесей.

Различие смесей связано с природой углей, входящих в смесь, зольностью, их гранулометрическим составом и формой угольных частиц, полученной в результате различного дробления. Кривые зависимости оптимального количества керосина от

влажности также имеют одинаковый характер; их различия объясняются указанными выше причинами.

Полученные выше характерные зависимости между насыпным весом угольной смеси, ее влажностью и оптимальным количеством керосина являются свойством смеси не только данного коксохимического завода, но имеют общий характер для всех угольных смесей близкого к ним гранулометрического состава.

Выше были приведены некоторые предположения ряда исследователей относительно механизма воздействия влаги на величину насыпного веса. Эти предположения не дают полной картины данного явления. Левен, пытаясь дать количественное объяснение изменению насыпного веса с изменением влажности угля, представил насыпной вес влажной смеси как отношение суммы весов отдельных составляющих (сухой уголь, вода и воздух) ко всему занимаемому ими объему. Согласно его взглядам, увеличение влажности угольной смеси не изменяет относительного расположения угольных частиц между собой, а только лишь увеличивает размеры частиц, так как влага распределяется равномерно по их поверхности.

Обработка опытных данных показывает, что допущение о сохранении постоянства взаимного расположения частиц угля относительно друг друга при различной влажности не отвечает действительности. При увлажнении происходит изменение взаимного расположения частиц угля, сопровождающееся изменением общего объема смеси, не пропорциональным увеличению объема влаги. При этом вовсе не требуется допущение о том, что воздух, заключенный в промежутках между частицами угля, находится в водных оболочках: он может свободно сообщаться с атмосферой.

Очевидно, что, рассматривая влажность угля только с точки зрения объема и веса присутствующей в нем воды, невозможно представить истинную картину действия влажности угля на его насыпной вес. Точно также недостаточно объясняет рассматриваемое явление и предположение, что вся влага угля распределяется равномерным слоем по поверхности угольных частиц. Из приведенных материалов следует, что присутствие влаги в угле обуславливает появление определенных сил, в результате действия которых изменяется взаимное расположение угольных частиц.

Чтобы ближе рассмотреть действие влажности угля на величину насыпного веса, обратимся к общим данным о состоянии воды в некоторых дисперсных системах.

А. В. Лыков, согласно общей схеме классификации форм связи влаги с материалом, предложенной академиком П. А. Ребиндером, указывает на три больших раздела форм этой связи:

- 1) химическая (связь стехиометрическая);

2) физико-химическая (связь в различных, не строго определенных соотношениях);

3) механическая (удержание воды в неопределенных количествах).

Учитывая, что подчас не удается точно установить характер связи влаги с материалом, другие исследователи делят всю влагу только на две части — свободную и связанную. При этом под свободной влагой понимается та часть общей влаги, наличие которой обеспечивает давление пара над поверхностью материала, равное давлению пара чистой воды.

М. П. Лонская подразделяет воду в антрацитах и каменных углях на две категории — связанную и свободную. Первая находится у поверхности твердой фазы под воздействием адсорбционных сил. Поверхность твердой фазы слагается в этом случае из внешней поверхности угольных частиц и поверхности открытых пор и трещин, если они имеются на данных частицах угля. Связанная вода обладает рядом свойств, отличных от свойств обыкновенной воды. Плотность связанной воды у антрацита доходит до 3, а у испытанных образцов каменных углей составляет 1,48—2,25 г/см³.

Температура замерзания связанной воды значительно ниже, чем свободной. Она является плохим растворителем. Содержание связанной воды в углях зависит от природы последних.

Количество абсорбционной влаги в зависимости от относительной влажности окружающего воздуха изменяется по изотермам, причем для всех углей Донбасса от газовых до ОС характерно явление гистерезиса, так как изотерма влагопоглощения располагается выше изотермы влагоотдачи. Петля гистерезиса шире у более молодых углей. Максимальное количество воды, которое может находиться в связанном состоянии, определено Лонской у антрацитов в среднем около 5%, для испытанных образцов каменных углей Донбасса от 1,95 до 2,08%.

Свободная вода обладает свойствами, присущими обыкновенной воде, и ее количество определяется разностью между содержанием общей влаги и связанной. Свободная влага, смачивая поверхность угольных частиц, преимущественно располагается в капиллярных промежутках между частицами угля.

Исходя из вышеизложенного, можно представить, что при увлажнении углей прежде всего образуется связанная вода, которая, распределяясь по поверхности угольных частиц, оказывает влияние на насыпной вес лишь постольку, поскольку она, с одной стороны, увеличивает размеры частиц, а с другой, — изменяет средний объемный вес частицы, рассматриваемый вместе со связанной водой.

Влияние последних обстоятельств на изменение величины насыпного веса, как видно из приведенных данных, чрезвычай-

но мало; кривые на рис. 10 отчетливо показывают содержания влаги от нуля до 2% постоянного значения насыпного веса. Следующее дальнейшее увлажнение дробленых углей уменьшение насыпного веса. Очевидно, это механизм действия воды, вызванным на связанной, а свободной воды, которая под действием сил стремится занять объем с минимальной поверхностью и поэтому сосредоточивается в промежутках между частицами, преимущественно в контактах.

Кривые зависимости насыпного веса смеси характеризуются областью наибольших значений (содержание общей влаги 0—2%) при отводе воды и областью минимума насыпного веса (влаги 8—12%) при полном насыщении смеси свободной водой в форме капиллярной воды. Натяжение воды в менисках этих маленьких средоточенной вокруг точек контакта частиц угля около друг друга в определенном объеме, что чем эти частицы меньше, тем легче при заданного натяжения удержать их в определенном объеме относительно друг друга. По мере увеличения объема возрастает число этих обводненных точек контакта, которые могут образовывать более или менее крупные частицы неправильной формы и с разнообразными свободными промежутками между ними. Последнее определяется ни чем иным, как стремлением в контактах занять объем с минимальной свободной даже препятствуя этим наиболее плотной упаковки.

Начиная с области минимального насыпного веса, в дальнейшем увлажнении угля, следует признать действие влаги. Очевидно, при дальнейшем увеличении количества влаги в угле становится уже возможным удержать капиллярные силы в точках под влиянием силы тяжести частично начинаются в пустотах. Такие скопления, не оказывая влияния на сил сцепления, увеличивают вес угля своей собственной стадия данного явления соответствует насыпному весу угольной смеси, при этом возможность по каплям вытекать из объема угля под действием силы тяжести. Капли воды, вытекая из отводов пустых промежутков, будут задерживаться в промежутках, образованных мелкими зернами угля, ком эти мелкие промежутки, вода будет им

2) физико-химическая (связь в различных, не строго определенных соотношениях);

3) механическая (удержание воды в неопределенных количествах).

Учитывая, что подчас не удается точно установить характер связи влаги с материалом, другие исследователи делят всю влагу только на две части — свободную и связанную. При этом под свободной влагой понимается та часть общей влаги, наличие которой обеспечивает давление пара над поверхностью материала, равное давлению пара чистой воды.

М. П. Лонская подразделяет воду в антрацитах и каменных углях на две категории — связанную и свободную. Первая находится у поверхности твердой фазы под воздействием адсорбционных сил. Поверхность твердой фазы слагается в этом случае из внешней поверхности угольных частиц и поверхности открытых пор и трещин, если они имеются на данных частицах угля. Связанная вода обладает рядом свойств, отличных от свойств обыкновенной воды. Плотность связанной воды у антрацита доходит до 3, а у испытанных образцов каменных углей составляет 1,48—2,25 г/см³.

Температура замерзания связанной воды значительно ниже, чем свободной. Она является плохим растворителем. Содержание связанной воды в углях зависит от природы последних.

Количество абсорбционной влаги в зависимости от относительной влажности окружающего воздуха изменяется по изотермам, причем для всех углей Донбасса от газовых до ОС характерно явление гистерезиса, так как изотерма влагопоглощения располагается выше изотермы влагоотдачи. Петля гистерезиса шире у более молодых углей. Максимальное количество воды, которое может находиться в связанном состоянии, определено Лонской у антрацитов в среднем около 5%, для испытанных образцов каменных углей Донбасса от 1,95 до 2,08%.

Свободная вода обладает свойствами, присущими обыкновенной воде, и ее количество определяется разностью между содержанием общей влаги и связанной. Свободная влага, смачивая поверхность угольных частиц, преимущественно располагается в капиллярных промежутках между частицами угля.

Исходя из вышеизложенного, можно представить, что при увлажнении углей прежде всего образуется связанная вода, которая, распределяясь по поверхности угольных частиц, оказывает влияние на насыпной вес лишь постольку, поскольку она, с одной стороны, увеличивает размеры частиц, а с другой, — изменяет средний объемный вес частицы, рассматриваемый вместе со связанной водой.

Влияние последних обстоятельств на изменение величины насыпного веса, как видно из приведенных данных, чрезвычай-

но мало; кривые на рис. 10 отчетливо показывают, что при увеличении содержания влаги от нуля до 2% сохраняется почти постоянное значение насыпного веса. Следовательно, величина последнего практически не зависит от связанной воды. При дальнейшем увлажнении дробленых углей происходит резкое уменьшение насыпного веса. Очевидно, это связано с другим механизмом действия воды, вызванным накоплением уже не связанной, а свободной воды, которая под действием капиллярных сил стремится занять объем с минимальной свободной поверхностью и поэтому сосредоточивается в наиболее узких промежутках между частицами, преимущественно в точках их контакта.

Кривые зависимости насыпного веса смеси от ее влажности характеризуются областью наибольших значений насыпного веса (содержание общей влаги 0—2%) при отсутствии свободной воды и областью минимума насыпного веса (содержание общей влаги 8—12%) при полном насыщении всех точек контакта свободной водой в форме капиллярной воды. Поверхностное натяжение воды в менисках этих маленьких объемов воды, сосредоточенной вокруг точек контакта частиц, удерживает частицы угля около друг друга в определенном положении. Естественно, что чем эти частицы меньше, тем легче силам поверхностного натяжения удержать их в определенном положении относительно друг друга. По мере увеличения влажности будет возрастать число этих обводненных точек контакта, поэтому частицы могут образовывать более или менее связанные группы частиц неправильной формы и с разнообразной величиной свободных промежутков между ними. Последняя в конечном счете определяется ни чем иным, как стремлением воды в точечных контактах занять объем с минимальной свободной поверхностью, даже препятствуя этим наиболее плотной укладке частиц угля.

Начиная с области минимального насыпного веса и при дальнейшем увлажнении угля, следует признать другой механизм действия влаги. Очевидно, при дальнейшем увлажнении количество влаги в угле становится уже таким, которое не может удержать капиллярные силы в точках контакта, и вода под влиянием силы тяжести частично начинает скапливаться в пустотах. Такие скопления, не оказывая влияния на величину сил сцепления, увеличивают вес угля своим присутствием. Начальная стадия данного явления соответствует минимальному насыпному весу угольной смеси, при этом вода получает возможность по каплям вытекать из объема угля под влиянием силы тяжести. Капли воды, вытекая из относительно больших пустых промежутков, будут задерживаться в маленьких промежутках, образованных мелкими зернами угля. Заполняя целиком эти мелкие промежутки, вода будет иметь свободную по-

верхность уже не вокруг точек контакта, а только с их одной (внешней) стороны и вследствие этого, уменьшая свою свободную поверхность, будет изменять взаимное расположение частиц угля относительно друг друга, сжимая их в такие группы, чтобы суммарная свободная поверхность ее была наименьшей. Поэтому насыпной вес будет повышаться не только вследствие веса добавляемой воды, но и благодаря более плотной упаковке угольных частиц в группах.

Таким образом, если наличие свободной воды в результате действия сил поверхностного натяжения приводит к значительному изменению ее насыпного веса, то ослабление или полная ликвидация сил сцепления, обусловленных поверхностным натяжением свободной воды, должны препятствовать этому изменению. Одним из способов уменьшения величины поверхностного натяжения воды является концентрация на поверхности воды веществ с более низким значением поверхностного натяжения. При этом часть свободной влаги, находящейся в капиллярах (в точках контакта), можно совсем удалить путем вытеснения ее при помощи этих жидкостей. К таким веществам относятся органические жидкости, плохо растворяющиеся в воде.

Рассмотрим действие указанных органических веществ, добавленных к влажной угольной смеси. Уже первые порции керосина заметно увеличивают ее насыпной вес. Керосин лучше, чем вода, смачивает поверхность угля и распределяется по поверхности угольных частиц.

При адсорбции керосина на поверхности воды силы поверхностного натяжения последней убывают согласно известному правилу, что вызывает ослабление взаимной связи между частицами, и, следовательно, увеличивается возможность уплотнения угольной смеси при одних и тех же воздействующих на нее внешних силах.

С увеличением количества добавляемого керосина последний при тщательном перемешивании смачивает всю поверхность угольных частиц, отделяет воду от угольной поверхности в точках контакта и может образовать там собственные мениски, сила поверхностного натяжения которых меньше, чем сила поверхностного натяжения воды и воды, «смоченной» керосином.

Вода в точках контакта, имея на своей поверхности адсорбированный керосин, а следовательно, и меньшее поверхностное натяжение, получит возможность стекать с точек контакта меньшими каплями (каплями с меньшим весом), чем вода, имеющая поверхность, свободную от керосина.

Чем больше влажность угля, тем больше требуется керосина для покрытия поверхности всей воды как у точек контакта, так и находящейся уже в виде капель. Дальнейшее прибавление керосина приводит к уменьшению насыпного веса, что вызы-

вается повышением объема керосина в точках довательного, и увеличением сцепления частиц происходящего в результате действия сил пов тяжения керосина.

В связи с этим представляет интерес рассм влиянии добавки керосина и воды к углю, не с бодной влаги.

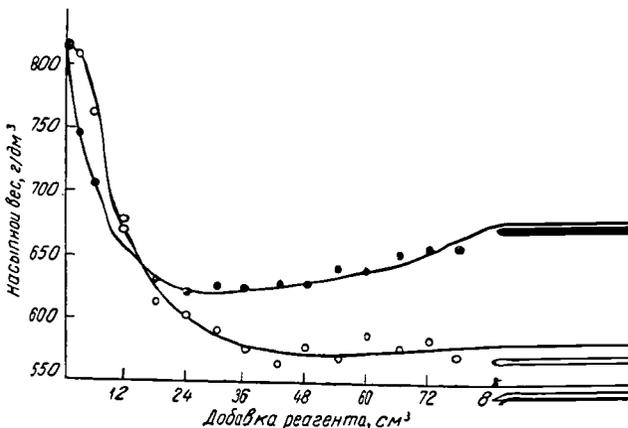


Рис. 12. Изменение насыпного веса сухой породы в зависимости от добавки воды и керосина: 1 — смачивание водой; 2 — смачивание керосином.

К двум порциям угля, по 550 г каждая, доведенно-сухого состояния с содержанием общей влаги прибавляли различные количества: к одной порции — воды, к другой — керосина. После двухминутного перемешивания порции с добавкой определяли насыпной вес. В результате таких опытов получены данные, представленные на рис. 12, которые позволяют убедиться в том, что при добавлении к углю свободной влаги, керосина или воды характер изменения насыпного веса принципиально остается одинаковым. Уже первые добавки воды или керосина резко снижают насыпной вес, который затем, пройдя через минимум, начинает постепенно возрастать. В данном случае действие на насыпной вес керосина и воды аналогично действию на насыпной вес керосином. Это находит свое объяснение в боль-

верхность уже не вокруг точек контакта, а только с их одной (внешней) стороны и вследствие этого, уменьшая свою свободную поверхность, будет изменять взаимное расположение частиц угля относительно друг друга, сжимая их в такие группы, чтобы суммарная свободная поверхность ее была наименьшей. Поэтому насыпной вес будет повышаться не только вследствие веса добавляемой воды, но и благодаря более плотной упаковке угольных частиц в группах.

Таким образом, если наличие свободной воды в результате действия сил поверхностного натяжения приводит к значительному изменению ее насыпного веса, то ослабление или полная ликвидация сил сцепления, обусловленных поверхностным натяжением свободной воды, должны препятствовать этому изменению. Одним из способов уменьшения величины поверхностного натяжения воды является концентрация на поверхности воды веществ с более низким значением поверхностного натяжения. При этом часть свободной влаги, находящейся в капиллярах (в точках контакта), можно совсем удалить путем вытеснения ее при помощи этих жидкостей. К таким веществам относятся органические жидкости, плохо растворяющиеся в воде.

Рассмотрим действие указанных органических веществ, добавленных к влажной угольной смеси. Уже первые порции керосина заметно увеличивают ее насыпной вес. Керосин лучше, чем вода, смачивает поверхность угля и распределяется по поверхности угольных частиц.

При адсорбции керосина на поверхности воды силы поверхностного натяжения последней убывают согласно известному правилу, что вызывает ослабление взаимной связи между частицами, и, следовательно, увеличивается возможность уплотнения угольной смеси при одних и тех же воздействующих на нее внешних силах.

С увеличением количества добавляемого керосина последний при тщательном перемешивании смачивает всю поверхность угольных частиц, отделяет воду от угольной поверхности в точках контакта и может образовать там собственные мениски, сила поверхностного натяжения которых меньше, чем сила поверхностного натяжения воды и воды, «смоченной» керосином.

Вода в точках контакта, имея на своей поверхности адсорбированный керосин, а следовательно, и меньшее поверхностное натяжение, получит возможность стекать с точек контакта меньшими каплями (каплями с меньшим весом), чем вода, имеющая поверхность, свободную от керосина.

Чем больше влажность угля, тем больше требуется керосина для покрытия поверхности всей воды как у точек контакта, так и находящейся уже в виде капель. Дальнейшее прибавление керосина приводит к уменьшению насыпного веса, что вызы-

вается повышением объема керосина в точках контакта, а следовательно, и увеличением сцепления частиц друг с другом, происходящего в результате действия сил поверхностного натяжения керосина.

В связи с этим представляет интерес рассмотреть данные о влиянии добавки керосина и воды к углю, не содержащему свободной влаги.

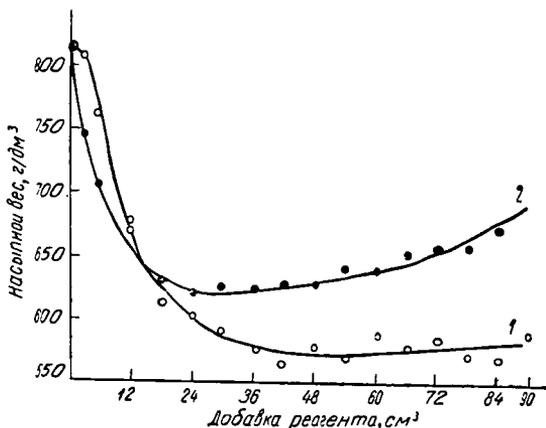


Рис. 12. Изменение насыпного веса сухой шихты в зависимости от добавки воды и керосина: 1 — смачивание водой; 2 — смачивание керосином

К двум порциям угля, по 550 г каждая, доведенным до воздушно-сухого состояния с содержанием общей влаги 1—1,4%, прибавляли различные количества: к одной порции — воды, к другой — керосина. После двухминутного перемешивания каждой порции с добавкой определяли насыпной вес. Затем снова прибавляли некоторое количество добавки, перемешивали и определяли насыпной вес. В результате таких последовательных добавок воды к одной порции угля и керосина к другой порции получены данные, представленные на рис. 12, которые позволяют убедиться в том, что при добавлении к углю, лишенному свободной влаги, керосина или воды характер изменения величины насыпного веса принципиально остается одним и тем же. Уже первые добавки воды или керосина резко снижают насыпной вес, который затем, пройдя через минимальное значение, начинает постепенно возрастать. В данном случае отличие между действием на насыпной вес керосина и воды заключается в том, что снижение насыпного веса водой более значительно, чем керосином. Это находит свое объяснение в большом поверхно-

стном натяжении воды, мениски которой у точек контакта сильнее фиксируют угольные частицы относительно друг друга, чем мениски керосина. Этим же свойством воды следует объяснить тот факт, что для достижения минимального значения насыпного веса требуется добавить воды больше, чем керосина.

Этот факт находится в полном соответствии с предыдущими рассуждениями о том, что минимальный насыпной вес получается при достижении максимального количества жидкости в точках контакта. Более сильное поверхностное натяжение воды позволяет накапливать и большее количество воды в точках контакта, тогда как керосин перестает удерживаться в точках контакта при значительно меньших количествах.

Чтобы полностью уничтожить действие влажности на насыпной вес угля, следует освободиться от сил поверхностного натяжения свободной воды (жидкости). Этого можно достичь полным удалением свободной воды или превращением свободной воды из жидкого состояния в твердое.

Влияние замораживания. При охлаждении угля до температуры ниже нуля вода переходит в твердое состояние, образуя лед, который связывает между собой частицы угля еще сильнее, чем они были связаны менисками свободной воды. При перемещении угольных частиц лед, соединяющий их в точках контакта, разламывается по наименьшему сечению и в дальнейшем эти связи не восстанавливаются. Поэтому свойства охлажденного до температуры ниже нуля влажного угля приближаются к свойствам сухого угля при обычных температурах. По мере повышения влажности насыпной вес охлажденного угля должен несколько уменьшиться вследствие увеличения участия льда, имеющего меньшую, чем уголь, плотность.

На основе экспериментальных данных [10] была найдена в общем виде зависимость насыпного веса охлажденной до температуры ниже нуля угольной смеси от ее влажности (рис. 13). Для сравнения здесь же приводится зависимость насыпного веса от влажности той же смеси при обычных температурах. Отчетливо видно возрастающее с влажностью относительное увеличение насыпного веса при замораживании. Начиная с влажности 2—3%, влага оказывает влияние на насыпной вес замороженной смеси, однако это отрицательное влияние значительно меньше, чем для обычной смеси (оттаявшей).

При влажности больше 2% насыпной вес замороженной смеси во всех случаях выше насыпного веса смеси при положительных температурах. Эта разность значений насыпных весов увеличивается с возрастанием влажности смеси. Сравнение кривых рис. 13 и 10 показывает одинаковый характер изменения насыпного веса при замораживании смеси и при добавке к ней оптимального количества углеводородной жидкости. Следовательно,

добавки керосина и замораживание угля оказывают одинаковое влияние на его насыпной вес.

Замораживание связанной воды не вызывает изменения ее влияния на насыпной вес угля. Замораживание свободной воды в точках контакта угольных частиц приводит к освобождению их от связи силами поверхностного натяжения свободной воды. В результате сцепление частиц замороженного угля такое же,

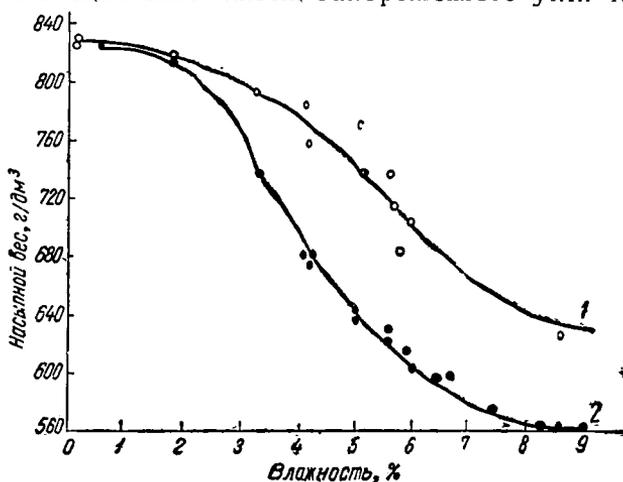


Рис. 13. Зависимость насыпного веса замороженной шихты от влажности:

1 — при температуре шихты от -9 до -13° ; 2 — при температуре шихты от $+20$ до $+24^{\circ}$

как и при отсутствии свободной воды. Однако оставшиеся на угольных частицах обломки льда увеличивают их размеры и меняют формы, что приводит к уменьшению плотности упаковки, т. е. к понижению насыпного веса по сравнению с насыпным весом сухой смеси. Это понижение, пропорциональное количеству замерзшей свободной воды, также вызывается тем, что объемный вес льда меньше, чем объемный вес угля.

Зависимость насыпного веса от ситового состава

Исследование заполнения объема сыпучим материалом [8] свидетельствует о том, что отношение объема шаров к объему вмещающего их сосуда не зависит от диаметра шаров и при различных системах укладки составляет от 74 до 52,4%. Однако угольные частицы не имеют шарообразной формы, что также влияет на степень заполнения объема.

Возможность увеличения насыпного веса угольной смеси для коксования путем соответствующего подбора ситового со-

става смеси давно привлекала внимание исследователей. Штекель и Радт провели изыскания возможностей увеличения насыпного веса углей путем различной компоновки их ситового состава [10]. Дробленый уголь делили на классы, в каждом из которых диаметр наибольшей частицы относился к диаметру наименьшей, как 2 : 1.

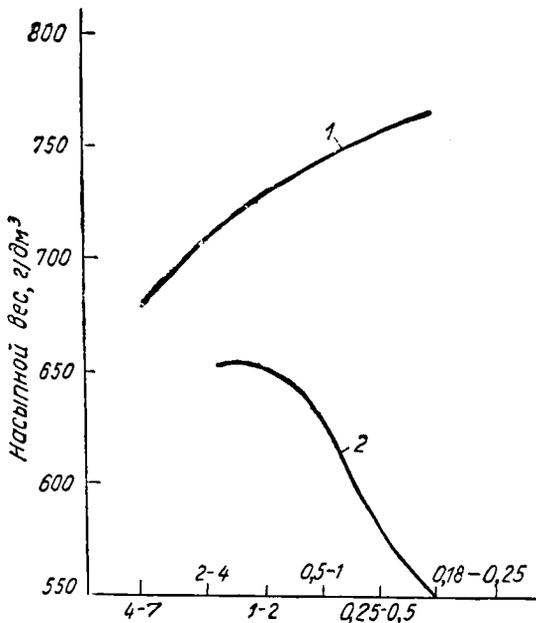


Рис. 14. Зависимость насыпного веса угля от ситового состава:

1 — сухой уголь; 2 — уголь с 12% влажности

Насыпные веса этих классов сухого угля при содержании в нем 12% влаги представлены на рис. 14. Максимальный насыпной вес достигался при условии, чтобы в смеси зерен отсутствовали некоторые средние (промежуточные) классы. Удаляя из смеси угольных зерен один промежуточный класс, остатку давали название «двойной» смеси. Выделяя из смеси, два, не находящихся рядом, промежуточных класса, остаток называли «тройной» смесью. Важнейшие выводы из этих экспериментов могут быть сведены к следующему:

1) для получения максимального насыпного веса промежуточные классы должны быть исключены из смеси угольных зерен;

Б А. А. Агроскин, А. К. Шелков

2) независимо от влажности угля тройные смеси постоянно дают более высокий насыпной вес, чем двойные; для сухого же угля безразлично, будет ли смесь двойная, тройная или иная; справедливо правило, что наибольший насыпной вес получится при приблизительно равных частях крупного, среднего и мелко-го классов зерен;

3) для влажных углей в каждом интервале влажности существуют оптимальные соотношения между классами, которые дают максимальный насыпной вес (табл. 5);

Т а б л и ц а 5
СИТОВОЙ СОСТАВ УГОЛЬНОЙ СМЕСИ МАКСИМАЛЬНОГО НАСЫПНОГО ВЕСА, %

Угольная смесь	Крупные зерна (4 мм)	Средние зерна (1—0,5 мм)	Мелкие зерна (0,12 мм)
Абсолютно сухая или трамбованная	35	35	30
С влажностью 2—4%	30	25	40
С влажностью больше 6%	45	40	15

4) изменение насыпного веса прессованного или трамбованного угля происходит аналогично изменению насыпного веса сухого угля.

Для выявления изменений насыпного веса угля в зависимости от крупности его помола в Украинском углехимическом институте были поставлены опыты, которые производились следующим образом. Рядовой уголь рассеивался на классы 0—3, 3—5, 5—10, 10—20 и 20—40 мм. Из отдельных классов составляли различные, равномерно смешанные смеси. Насыпной вес отдельных классов и их смесей определяли в деревянном цилиндре диаметром 441 мм и высотой 720 мм.

Результаты этих опытов показали, что насыпной вес отдельных классов ниже насыпного веса большинства смесей, приготовленных из них. И, наоборот, чем шире диапазон классов, входящих в смесь, тем ее насыпной вес, как правило, больше.

В результате изучения изменения насыпного веса угля в зависимости от различных факторов С. А. Шварц (Днепропетровский углехимический институт) пришел к выводу, что зависимость насыпного веса углей от их влажности не одинакова для углей различного ситового состава. На рис. 15 представлены результаты лабораторных опытов определения насыпного веса в зависимости от влажности и ситового состава угля.

Кеппель [7] расчетным путем получил данные по ситовому составу угля, отвечающему максимальному насыпному весу:

Размер частиц, мм	5—10	3—5	1—3	0,5—1	<0,5
Процент в смеси	32,4	14,4	15,0	17,6	20,6

В результате этих работ была установлена принципиальная возможность путем изменения ситового состава угольных смесей для коксования оказывать влияние на величину их насыпного веса. При этом выяснено, что чем шире диапазон в разме-

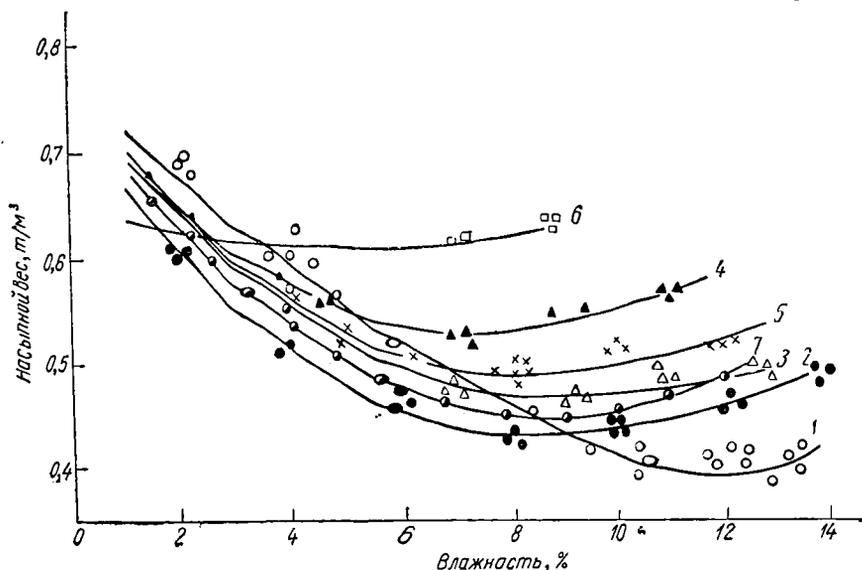


Рис. 15. Зависимость насыпного веса угля от влажности и ситового состава:

1 — класс 0,0—0,5 мм; 2 — класс 0,5—1,5 мм; 3 — класс 1,5—3,0 мм; 4 — класс 3,0—5,0 мм; 5 — класс 1,5—5,0 мм; 6 — класс 5,0—6,0 мм; 7 — смесь: 0—1,5 мм — 50%, 1,5—3,0 мм — 25%, 3,0—7,0 мм — 25%

рах частиц угольной смеси, тем больше ее насыпной вес. Найдены соотношения отдельных фракций в смеси, при которых смесь обладает повышенным насыпным весом, и отмечено, что эти соотношения зависят от влажности угля.

Значение степени дробления угольной смеси для качества получаемого кокса чрезвычайно велико. Ситовый состав смеси, оказывая влияние на величину ее насыпного веса, определяет объем промежутков между угольными частицами, их ориентировку относительно друг друга и величину поверхности их соприкосновения, которые имеют большое влияние на ход процесса склеивания частиц при коксообразовании. Л. М. Сапожников указывает также, что вязкость пластической массы некоторых углей сильно изменяется с измельчением. Кроме того,

пространственное распределение компонентов угольной смеси может изменяться и в стадии ее пластического состояния.

Опыт работы коксохимических заводов также показывает, что степень дробления углей для коксования оказывает большое влияние на качество получаемого кокса. Соответственный помол может явиться действенным средством для получения доброкачественного кокса даже из таких угольных шихт, которые при обычном дроблении считаются мало пригодными для коксования. Эти положения выдвигают практическое требование различного дробления разных углей для коксования, так как для различных угольных шихт не существует единственного оптимального для всех случаев ситового состава.

Таким образом, возможности изменения ситового состава шихты с целью повышения насыпного веса сильно ограничены, так как ситовый состав угольных шихт для коксования должен определяться в первую очередь теми жесткими требованиями к качеству получаемого кокса, которые выдвигает основной потребитель последнего — доменное производство.

В связи с ростом производства кокса для составления шихт все больше привлекаются новые угли, качество которых часто требует тонкого дробления при включении их в угольные смеси для коксования.

Решение задачи равномерного смешения дробленых углей и уменьшения влияния сегрегации значительно облегчается при тонком помоле углей. Практика работы заводов показывает, что при тонком дроблении углей происходит улучшение свойств и равномерности качества кокса. Отсюда понятна ограниченность возможностей изменения ситового состава угольной шихты с целью повышения ее насыпного веса и малоудачные, не принятые производством попытки повысить насыпной вес путем укрупнения помола углей.

При общей тенденции к более тонкому измельчению углей, идущих на коксование, необходимо оценить влияние изменения ситового состава угольной шихты на величину ее насыпного веса и учитывать это обстоятельство при установлении степени дробления.

Одна из попыток решения этого вопроса была сделана в работе Эйзенберга, который исследовал влияние ситового состава и влажности угля на средний насыпной вес. Для опыта был взят уголь класса 0—10 мм с переменным содержанием фракции 0—3 мм. Результаты опытов показали, что с увеличением влажности максимальные значения насыпного веса угля сдвигаются в область более крупного помола.

В дальнейшем А. А. Агроскиным и Р. Н. Питиным были предприняты детальные исследования по выявлению влияния ситового состава угольных смесей на величину их насыпного

веса [10]. Первая серия опытов проводилась с целью выяснить влияние влажности на величину насыпного веса угольной смеси различного ситового состава. Исходную смесь делили на два класса: больше 3 мм и меньше 3 мм. Угольные смеси различного ситового состава получали путем тщательного смешения различных количеств указанных двух классов. Приготовленные таким способом смеси с различным ситовым составом подвергали определению насыпного веса при разном содержании влаги.

На рис. 16 представлены результаты проведенного исследования.

На нижней части рис. 16 графически изображен ситовый состав смесей, использованных для опытов. В средней части изображены изменения насыпного веса смесей различного ситового состава при одинаковой влажности. Верхняя часть графика дает представление об изменении влажности смесей различного ситового состава соответствующей минимальному весу (W_m).

Рассмотрение данных, приведенных на рис. 16, показывает, что при общей влажности около 1% насыпной вес смесей имеет максимум при содержании класса < 3 мм от 75 до 80%. Смеси различного ситового состава при общей влажности примерно 2% имеют насыпной вес всюду ниже, чем при $W=1\%$. Максимум насыпного веса наблюдается уже при содержании класса < 3 мм около 85%.

При $W=3\%$ изменение насыпного веса смесей различного ситового состава повторяет характер изменения насыпного веса смесей при $W=2\%$, только максимум здесь выражен менее резко и находится в области содержания класса < 3 мм около 90%.

Увеличение влажности до 4% вызывает уменьшение насыпного веса с ростом содержания в смеси класса < 3 мм по прямой линии без явления максимума. Дальнейшее увеличение влажности вызывает еще больший наклон прямых к оси абсцисс. Интересно, что в данном случае, очевидно, существует какое-то значение влажности, лежащее в интервале от 3 до 4%, при котором величина насыпного веса смесей не зависит заметным образом от их ситового состава, и, следовательно, прямая должна располагаться параллельно оси абсцисс.

Кривые изменения насыпного веса в зависимости от влажности имеют один и тот же характер для смесей различного ситового состава. Различие между ними заключается лишь в значении влажности смеси, соответствующей минимальному насыпному весу, которое растет с увеличением содержания класса < 3 мм, составляя около 3,5% для смеси с содержанием класса < 3 мм 30% и 10—11% для смеси, состоящей на 100% из класса < 3 мм.

Таким образом, оказывается, что изменение насыпного веса

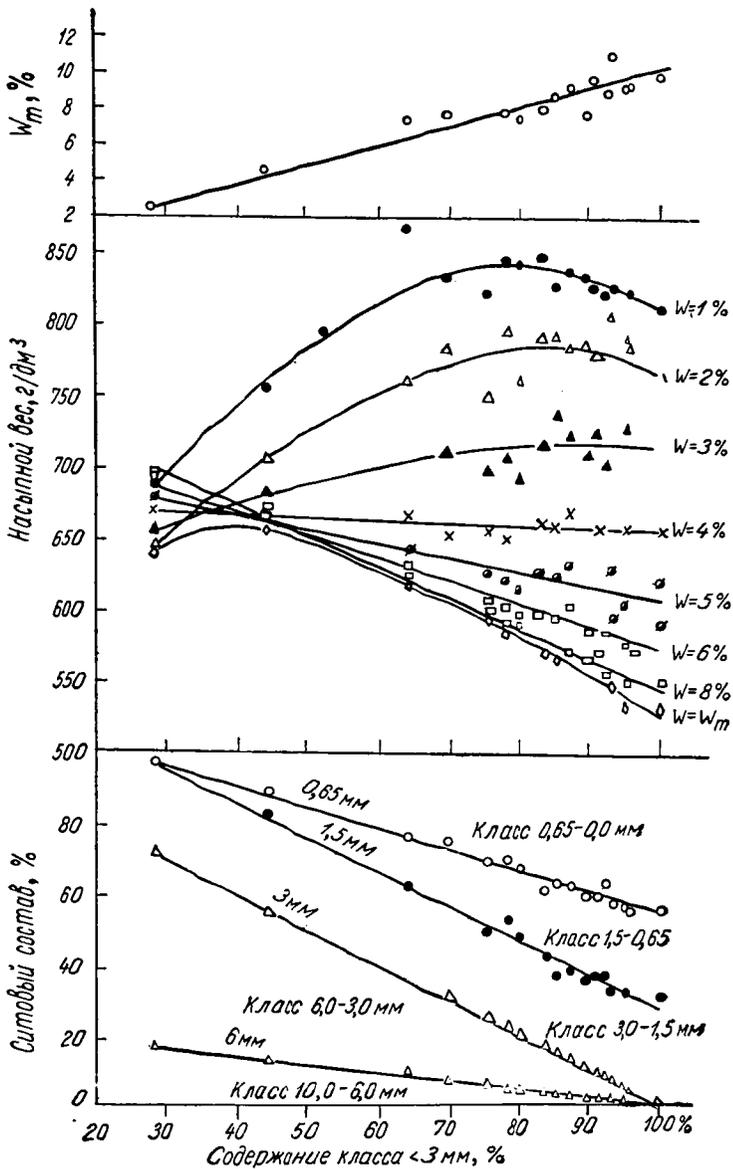


Рис. 16. Зависимость насыпного веса угля от ситового состава и влажности

смесей различного ситового состава в большой степени зависит от влажности угольной смеси. Распространенное мнение, что укрупнение зерен угля в смеси влечет за собой увеличение насыпного веса, оправдывается только для смесей с влажностью больше 4%. При влажности меньше 4% имеется область значений ситового состава смесей, для которых, наоборот, укрупнение частиц угля вызывает уменьшение насыпного веса. В области значений влажности угольной смеси от 4 до 6% насыпной вес незначительно увеличивается при переходе к более крупному помолу, причем это увеличение тем больше, чем выше влажность угля. Аналогичные результаты были получены П. А. Судьей при работе с другой угольной шихтой [100].

Укрупнение зерен угля в смеси приводит к уменьшению числа частиц в единице объема. Это обстоятельство вызывает уменьшение числа контактов между частицами. В соответствии с этим общее количество воды, которое может быть удержано капиллярными силами в точках контакта, уменьшается при переходе к смесям с более крупным помолом. Это и подтвердилось экспериментально тем, что влажность смеси, отвечающая минимальному насыпному весу, уменьшается с увеличением крупности помола.

Зависимость насыпного веса от степени метаморфизма, зольности и степени окисления угля

Влияние степени метаморфизма. В литературе достаточно широко освещен вопрос о влиянии степени метаморфизма углей на их удельный вес, однако почти отсутствуют данные о зависимости насыпного веса углей от степени метаморфизма.

Для исследования [7] были взяты: антрацит, анжерский, прокопьевский, ленинский угли и подмосковный бурый уголь. Кроме того, в целях сравнения были также исследованы торф, древесный и активированный угли, каменноугольный пек и пековый кокс.

Основные результаты проведенного исследования сопоставлены в табл. 6.

Разрыхляющее действие влаги должно сказываться в тем большей степени, чем менее гидрофильна поверхность данного углеродистого порошка.

Действительно, вода равномерно распределяется по поверхности гидрофильных углеродистых порошков, и образование агрегатов затруднено. В случае же гидрофобных поверхностей, вода, будучи добавлена даже в небольших количествах, образует мениски, затрудняющие скольжение частиц по поверхности друг друга. Это целиком подтверждается результатами проведенных экспериментов. Гидрофильные свойства поверхности

Таблица 6
НАСЫПНОЙ ВЕС РАЗЛИЧНЫХ ТВЕРДЫХ ТОПЛИВ

Топливо	Насыпной вес					
	при $W=0\%$, г/дм ³	минимальный, г/дм ³	изменение, %	при $W=5\%$, г/дм ³	при опти- мальной до- бавке кероси- на, г/дм ³	изменение, %
Графит	925	620	-33,0	589	648	10,0
Древесный уголь	263	270	2,6	272	—	Отрица- тельное
Активированный уголь . .	265	Увеличивается с повышением влажности		304*	305	0,3
Каменноугольный кокс . .	754	523	-30,6	550	При 10%-ной до- бавке керосина мак- симум не достигнут	
Пек	708	558	-22,0	647	656	1,3
Пековый кокс	823	601	-27,0	640	711	11,0
Антрацит	785	671	-14,4	690	752	9,0
Анжерский уголь	770	532	-31,0	571	672	17,7
Прокпьевский уголь	780	520	-33,2	580	687	18,4
Ленинский уголь	770	525	-31,8	579	644	11,3
Подмосковный уголь	830	560	-32,5	670	717	7,0
Горф	191	196	2,5	194	—	Отрица- тельное

* При $W = 14\%$.

древесного угля, активированного угля, торфа являются причиной некоторого повышения насыпного веса порошков этих материалов с ростом их влажности. Наблюдаемое повышение насыпного веса, по-видимому, следует объяснить также тем, что при малых абсолютных значениях насыпного веса этих проб (190—270 г/дм³) оказывает влияние удельный вес добавляемой воды.

В ряду каменных углей наибольшее уменьшение насыпного веса с повышением влажности дают угли марок К и Ж. Максимальное уменьшение насыпного веса составляет 32,2% для прокпьевского угля. По мере перехода к тощим углям и антрацитам, с одной стороны, и газовым и бурым углям, с другой, вредное влияние влаги на насыпной вес уменьшается. Некоторое отклонение для подмосковного буроуголя объясняется высоким содержанием минеральных веществ, приводящим к возрастанию абсолютного значения насыпного веса угля.

Большая или меньшая степень гидрофобности зависит прежде всего от химической природы углей. Угли марок К, Ж и ОС,

находящиеся в средней стадии метаморфизма, содержат сравнительно небольшое количество кислородных соединений и обладают гидрофобной поверхностью, наиболее ярко выраженной для коксовых и жирных углей. Гидрофобные свойства значительно слабее представлены в газовых и длиннопламенных углях, с одной стороны, в антрацитах и тощих углях, с другой. В полном соответствии с этим находятся данные о кинетике пропитки керосином порошков различных марок углей [10].

Исходя из представлений о лиофильности и лиофобности веществ, следует предположить, что различный элементарный состав угля должен в большей или меньшей степени влиять на эффект уплотнения угля при добавках углеводородной жидкости. При этом, очевидно, не является безразличным вопрос о характере химических соединений, соответствующих данному элементарному анализу. Можно с некоторым приближением принять, что соединения, содержащие кислород, труднее смачиваются углеводородами и снижают относительный эффект уплотнения, а наличие большого количества водорода способствует уплотнению. Положительный эффект частично относится и к углероду. Более детальное изучение этого вопроса показывает, что данная схема является недостаточной и характер химических соединений угля оказывает существенное влияние. Результаты свидетельствуют о том, что угли средней степени метаморфизма, т. е. марки К, дают наибольший эффект уплотнения. Они же являются и наиболее лиофильными по отношению к ароматическим углеводородам.

Представляет интерес возможность составления эмпирической формулы, выражающей зависимость увеличения насыпного веса угля от его элементарного состава.

Соответствующей обработкой полученных экспериментальных материалов найдено, что данной связи лучше всего отвечает следующая формула, выражающая изменение насыпного веса угля при добавках керосина в зависимости от элементарного состава угля:

$$\Delta\gamma = m \frac{H}{O} + \left(n - \frac{k}{O+N} \right) C, \quad (3,IV)$$

где $\Delta\gamma$ — увеличение насыпного веса угля, %;
 H, O, N, C — соответственно содержание в угле водорода, кислорода, азота и углерода, %;
 m, n, k — константы, для данного случая имеющие следующие значения: $n=0,07$, $m=0,2$, $k=9,0$.

Результаты расчета по этому уравнению показывают, что максимальное повышение насыпного веса соответствует выходу летучих на горячую массу от 22 до 24 %.

Исследование [10] показало, что для насыпного веса углей Донбасса характерны те же закономерности, какие были обнаружены для изменения насыпного веса углей других каменноугольных бассейнов.

Влияние зольности. Поскольку удельный вес минеральной части угля значительно выше удельного веса органической массы, можно полагать, что с увеличением зольности угля насыпной вес его должен возрастать. Так, занимаясь выяснением зависимости между зольностью угля и его насыпным весом, Эйзенберг делает вывод об увеличении насыпного веса приблизительно на 1% при увеличении зольности на 2%.

Влияние зольности угля на изменение его насыпного веса от влажности и при смачивании керосином изучалось на пробе угольной смеси Кемеровского коксохимического завода [7]. Путем обогащения флотацией из данной смеси были получены пробы с различной зольностью и дополнительным дроблением достигнут практически один и тот же ситовый состав отдельных проб, в том числе и полупродуктов обогащения:

Класс, мм .	1,5—1	1—0,5	0,5—0,15	0,15—0
Содержание, %	1	40,8	20	38,2

Насыпной вес угля с различной зольностью определялся при изменении содержания влаги от нуля до 12%. Результаты проведенных опытов сопоставлены в табл. 7.

Эти данные показывают, что величина насыпного веса в за-

Таблица 7

ЗАВИСИМОСТЬ НАСЫПНОГО ВЕСА УГЛЯ С РАЗЛИЧНОЙ ЗОЛЬНОСТЬЮ ОТ СОДЕРЖАНИЯ ВЛАГИ

$A^c = 9,12\%$			$A^c = 5,88\%$			$A^c = 4,73\%$		
W, %	насыпной вес		W, %	насыпной вес		W, %	насыпной вес	
	$\epsilon/\theta \text{ м}^3$	% от сухого угля		$\epsilon/\theta \text{ м}^3$	% от сухого угля		$\epsilon/\theta \text{ м}^3$	% от сухого угля
0,20	734	100,0	0,3	731	100,0	0,00	743	100,0
2,05	713	97,1	2,0	700	95,7	1,35	669	90,0
3,80	562	76,6	4,0	554	75,8	2,00	663	89,7
6,05	501	68,8	5,5	509	69,9	3,95	539	72,5
7,05	473	64,4	7,7	457	62,5	5,05	454	61,0
10,20	458	62,4	9,6	442	60,5	7,05	428	57,8
11,70	459	62,5	11,8	451	61,7	9,40	417	56,1
						10,90	422	56,8

зависимости от содержания влаги совершенно закономерно падает до определенного минимума, лежащего в пределах влажности угля около 9%.

При содержании золы в сухой угольной смеси от 4,73 до 9,72% резкой разницы в величине насыпного веса не обнаруживается; с ростом содержания влаги разница в величине насыпного веса в зависимости от содержания золы делается заметной.

В дальнейшем было изучено влияние различной зольности смеси на ее насыпной вес при смачивании керосином. Наибольшее повышение насыпного веса от добавки керосина дали пробы смеси с наименьшей зольностью. Поскольку поверхность угольных зерен частично гидрофилизуется за счет минеральных частей, эффективность смачивания угля керосином понижается с увеличением его зольности.

Влияние окисления углей. При окислении углей происходят изменения их различных свойств. С точки зрения влияния окисления углей на их насыпной вес существенными изменениями являются:

- 1) изменение удельного веса углей;
- 2) изменение ситового состава.

Изменение веса угля при окислении, различное для различных углей, в общем происходит в следующем порядке: сначала вес угля растет, а затем быстро падает ниже первоначальной величины. Изменение веса при окислении связано с воздействием кислорода на угольное вещество. Количество поглощаемого кислорода может достигать весьма значительной величины. При этом молекулы кислорода связываются в комплексы со сложными атомными группами, образующими вещество угля. В этих комплексах между атомами, входящими в состав угля, и атомами кислорода начинают действовать химические силы, но самый характер строения вещества угля еще не нарушается. При дальнейшем окислении углей начинает наблюдаться постепенное уменьшение веса вследствие выделения углекислого газа и водяного пара.

При окислении угля изменяется его ситовый состав, куски угля распадаются на мелочь. Это, по-видимому, не связано непосредственно с окислением. Распадение крупных кусков угля при хранении на воздухе является результатом неравномерного высыхания влажного угля. Выделение влаги сопровождается уменьшением объема, в результате чего возникают внутренние напряжения, разрывающие куски на части. Это происходит без заметного изменения других свойств угля.

Есть основание полагать, что при условии равных удельных весов насыпной вес окисленного угля должен быть больше, чем неокисленного. Вокруг каждой частицы угля существует воздушная оболочка. Величина насыпного веса зависит от адсорб-

ции воздуха. Объем осадков порошков различен в зависимости от рода жидкости, в которой они были взвешены. Даже в воздухе объем осадка значительно больше, чем в вакууме; подсчет показывает, что толщина лиосфер, т. е. связанных поверхностно сольватных слоев, имеющих на поверхности частиц, весьма значительна и доходит, по-видимому, до 1 μ . Экспериментами показано наличие на поверхности угольных частиц молекулярных слоев воздуха, образующего «атмосферу» твердых частиц. Очевидно, в данном случае полностью применима теория о поверхностном адсорбционном потенциале. Анализ воздуха из лиосфер показывает, что состав его близок к атмосферному, но содержание кислорода в среднем выше на 0,4—0,5%. Учитывая указанные работы, можно заключить, что, поскольку вокруг окисленных угольных частиц создаются более толстые адсорбционные слои воздуха, плотность упаковки частиц окисленного угля должна быть меньше, чем неокисленного.

Таким образом, изменение насыпного веса углей при окислении определяется изменением их удельного веса, ситового состава и плотности упаковки частиц. Первый из этих факторов приводит к увеличению насыпного веса, а последние — к уменьшению. Результирующее влияние на насыпной вес должно быть определено экспериментальным путем.

Данные В. С. Загребельной [7] об изменении насыпного веса неокисленной и окисленной угольных смесей с влажностью от нуля до 9% (окисление угля продолжалось в течение 72 час.), приведенные на рис. 17, показывают значительное увеличение насыпного веса угля при окислении. Это увеличение наблюдается как для сухого, так и для влажного угля и составляет 8,5—10,6%. Относительное уменьшение насыпного веса с увеличением влажности практически одинаково для исходной и окисленной смеси.

Вероятно, что в процессе окисления поверхность угольных зерен покрывается пленкой кислорода, которая частично гидрофилизует ее. В результате этого должен уменьшиться краевой угол смачивания углеводородными жидкостями и, как следствие, должен понизиться эффект увеличения насыпного веса.

Увеличение насыпного веса углей для коксования оказывает большое влияние на качество получающегося кокса. Как известно, уплотнение угольной смеси значительно улучшает ее коксующие свойства, особенно при использовании малометаморфизованных (газовых) углей.

Постоянный насыпной вес угольной смеси определяет получение кокса постоянного по насыпному весу качества, независимо от влияния колебаний влажности углей и степени их дробления.

Увеличение насыпного веса углей является в последнее время насущной проблемой, поскольку борьба за повышение качества кокса вызвала к жизни совершенно правильную тенденцию к более тонкому помолу ряда углей, который, как известно, приводит к уменьшению насыпного веса. Задача сводится к тому, чтобы, несмотря на повышение степени дробления углей, не только не потерять, но даже выиграть в производительности коксовых установок.

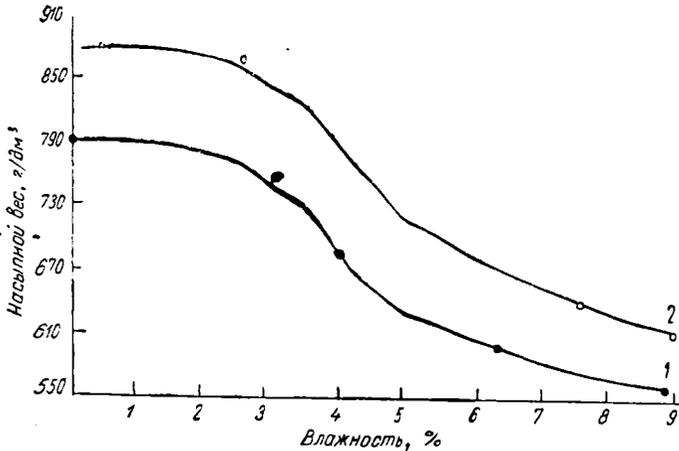


Рис. 17. Зависимость насыпного веса угля от степени окисления:

1 — исходная шихта; 2 — окисленная шихта

Вопрос об увеличении насыпного веса угольной смеси как основного фактора, определяющего производительность коксовых печей и качество получаемого кокса, давно является предметом исследования советских и зарубежных авторов. Предложенные для этой цели методы: увеличение крупности помола углей, применение дифференцированного помола отдельных компонентов угольных смесей, уплотнение смеси механическими средствами, уменьшение влагосодержания смеси и т. п. имеют, однако, ограниченное применение вследствие громоздкости этих методов, требующих соответствующей реорганизации углеподготовительных цехов коксохимических заводов.

Во время Отечественной войны был разработан и внедрен новый метод повышения насыпного веса углей для коксования путем смачивания их микроколичествами углеводородных жидкостей, получивший название «метода Академии наук СССР» (метод А. А. Агроскина). Особенностью данного метода, о котором будет сказано ниже, является применение принципа фи-

зико-химического воздействия на поверхностные свойства угольных зерен.

Отношение веса загруженной в камеру коксования угольной смеси к фактически занимаемому ею объему камеры называется средним насыпным весом угольной смеси в камере коксования. Однако действительные значения насыпного веса в отдельных частях объема камеры отличаются от среднего значения насыпного веса угольной смеси в камере коксования.

Распределение значений насыпного веса в угольной загрузке камеры коксования исследовалось С. А. Шварцем на деревянной модели коксовой печи Днепродзержинского завода. Этими опытами с угольной загрузкой, содержащей от 6 до 11% влаги, было установлено, что минимальный насыпной вес получается при 8—10% влажности угольной смеси. Изменение же влажности в указанных пределах не влияет на характер распределения значений насыпного веса угля по камере печи.

Неравномерное распределение значений насыпного веса угольной смеси в камере коксования объясняется многими причинами.

И. Н. Пересащенко и И. И. Шулешов использовали стеклянную модель камеры коксования в $\frac{1}{10}$ натуральной величины для выявления распределения насыпного веса и ситового состава угля по длине камеры. При загрузке угля в модель наблюдается сегрегация угля, и вследствие этого значения насыпного веса по длине камеры изменяются. Я. М. Обуховский, С. И. Сухенко и Я. З. Лейтман своими опытами на стеклянной модели также подтвердили наличие сегрегации угля при его загрузке в модель.

Было отмечено, что на распределение насыпного веса угля в камере оказывает влияние провисание штанги планира при передвижении ее в камере во время разравнивания угольной загрузки.

Специальными опытами было подтверждено неравномерное распределение значений насыпного веса угля и по высоте камеры коксования.

Для опытов служила деревянная модель, представляющая собой по форме коксовую камеру. Устройство модели позволяло определять насыпной вес загрузки на разных высотах камеры. Уголь содержал от 9,1 до 12,0% влаги. Опыты показали, что средний насыпной вес угля в модели оказался приблизительно на 7,5% выше, чем насыпной вес того же угля при свободном падении. Максимальный насыпной вес угольной шихты имел место на высоте 1,75 м от пода модели и превышал на 12,5% значение насыпного веса при свободном падении. Это подтвердилось в опытах как с 6-м высотой, так и с 4,5-м высотой камеры. Объяснение такого явления заключалось в том, что уголь,

падая с большой высоты, рассыпается, причем удары его о стенки камеры в нижних частях сдерживают скорость падения. Ударяющийся о под уголь пружинит, благодаря чему в нижней части образуются рыхлые слои, а на несколько большей высоте от пода проявляется совокупное действие сил упругости и силы тяжести; здесь и будет наиболее высокий вес угольной загрузки.

Неравномерное распределение значений насыпного веса угольной загрузки в модели камеры коксования подтверждается также данными других работ.

С. Н. Кафтан и Н. А. Никольский обратили внимание на то обстоятельство, что неравномерное распределение значений насыпного веса угля в камере коксования при обычном распределении температур по простенкам приводит к неравномерному поспеванию коксового пирога. В участках камеры с меньшим насыпным весом угольной загрузки происходит перестой кокса, повышение температуры в вертикалах, перегрев кладки и ошлакование ее; на участках с большим насыпным весом — выдача кокса с недопалом. Исходя из этого, они предложили подавать тепло в отопительные вертикалы в соответствии со значением насыпного веса находящейся против них угольной смеси. По их расчетам, при этом можно сократить период коксования на 1,5—2 часа, одновременно улучшая качество кокса и химических продуктов, а также сократить расход газа на отопление на 5—7%. Кроме того, при этом удлинится срок службы печей.

И. Н. Пересаденко и И. Н. Шулешовым на опытном участке в 10 печей была проведена соответствующая регулировка отопления печей. Сущность этой регулировки заключалась в том, что количество тепла к стенкам подводили пропорционально насыпному весу смеси на данном участке камеры. Это мероприятие, по данным указанных авторов, позволило сэкономить 7—10% тепла и сократить период коксования примерно на 1 час.

На величину среднего насыпного веса угля в камере оказывает существенное влияние метод загрузки угольной смеси в камеру коксования. Этот вопрос специально освещается в работе П. Л. Герцберга, который провел испытания различных методов загрузки на двух заводах ($W^p = 3—5\%$ и $W^p = 10—12\%$).

Определение насыпного веса производилось в эксплуатационных условиях в печах при обычных для данного завода влажности и помоле угольной смеси. Одновременно испытывались различные методы загрузки.

На основании проведенных опытов автор приходит к следующим выводам:

1. При загрузке необходимо придерживаться опорожнения бункеров, обуславливающего наименьшее сопротивление газо-

вых потоков, соблюдая интервалы в последовательности в зависимости от степени сыпучести шихты.

2. Насыпной вес, помимо методов загрузки, зависит от:

а) высоты и плотности заполнения шихтой бункеров загрузочного вагона;

б) веса загрузки;

в) степени очистки от графита загрузочных люков.

В связи с этим автор указывает на целесообразность увеличения высоты бункеров загрузочного вагона путем уменьшения конусности и увеличения сечения горловин бункеров и загрузочных люков, которым можно придать эллиптическую форму.

Результаты исследований также показывают, что насыпной вес угольной загрузки в камере коксовой печи не одинаков в различных частях ее и меняется как по высоте камеры, так и по ее длине.

Обычно, говоря о насыпном весе угля в камере, имеют в виду не действительный насыпной вес в той или иной части объема ее, а средний насыпной вес, представляющий собой частное от деления веса всей угольной загрузки на весь занимаемый ею объем. На распределение насыпного веса по объему камеры и на среднюю величину его, кроме перечисленных выше свойств угля, оказывают также влияние: конструктивные особенности данных коксовых печей (высота камеры, число загрузочных люков, устройство загрузочного вагона), принятые методы загрузки и планирования, а также качество работы обслуживающего персонала.

В результате исследований Р. Н. Питина, проведенных на лабораторном аппарате, было определено, что величина насыпного веса угольной смеси зависит от многих факторов и операций загрузки, из них наиболее существенными оказались:

1) величина выпускного отверстия бункера;

2) способ наполнения бункера углем;

3) эксцентриситет между осями бункера и приемника;

4) высота падения угля из бункера в приемник.

При этом было отмечено, что насыпной вес угля влажностью 1,5% при изменении условий загрузки почти не меняется. При влажности угля от 2,4 до 8,0% изменения условий загрузки тем больше сказываются на величине насыпного веса угля, чем влажность угля выше, т. е. чем ниже исходный насыпной вес угля.

При изменении высоты падения угля из бункера в приемник, а также при изменении величины сечения выпускного отверстия бункера фактором, определяющим насыпной вес угля в приемнике, является конечная скорость падения частиц угля. Чем больше конечная скорость падения угольных частиц, тем выше

насыпной вес угольной загрузки. Это подтверждается также результатами других работ. Следовательно, для повышения насыпного веса угля необходимо соблюдать условия, обеспечивающие большую конечную скорость падения угля при его загрузке.

Результаты проведенных опытов показывают значение отдельных факторов загрузки для величины насыпного веса угля. Так, установлено, что чем плотнее загружается уголь в бункер, тем больше становится величина насыпного веса в приемнике. Этот факт находится в соответствии с выводом, полученным ранее П. Л. Герцбергом. Весьма важным при загрузке для повышения насыпного веса является точная центровка осей бункера и приемника. При допущении эксцентриситета между ними насыпной вес угля в приемнике понижается.

В практике коксохимических заводов существуют различные способы загрузки, зависящие от числа загрузочных люков, количества и расположения стояков и других факторов. Необходимо, очевидно, в зависимости от конструкции коксовой печи и свойств перерабатываемой угольной смеси найти достаточно мотивированные и экспериментально обоснованные способы и приемы загрузки камеры коксования угольной смесью, обеспечивающие наряду с полным использованием полезного объема камеры повышение величины насыпного веса угольной смеси.

Таким образом, действительный насыпной вес угольной смеси в камере коксования неодинаков в различных частях ее, т. е. является функцией места, для которого определяется значение насыпного веса.

Перестройка теплотехнического режима обогрева печей с тем, чтобы тепло в отопительные простенки подавалось в соответствии с насыпным весом угля в различных частях камеры коксования, может улучшить условия для одновременного поспевания различных частей коксового пирога.

На величину насыпного веса угольной смеси в камере коксования большое влияние оказывают методы загрузки и планирования угольной смеси, а также условия эксплуатации печей.

Насыпной вес угольной смеси в камере коксования зависит от заполнения угольной башни; быстроты набора угля в бункера загрузочных вагонов; правильной центровки осей бункеров загрузочного вагона и загрузочных люков камеры; полноты открывания затворов; очистки от графита загрузочных люков; скорости схода угольной смеси из бункеров загрузочного вагона в загрузочные люки камеры; порядка открывания и опорожнения бункеров загрузочного вагона и порядка продолжительности планирования.

Разработка рациональных методов и приемов загрузки и планирования, находящихся в соответствии со свойствами пере-

рабатываемой угольной смеси и конструкцией печей и загрузочных механизмов, может дать добавочные возможности для увеличения среднего насыпного веса угля в камере коксования действующих печей. Осуществление такого метода повышения насыпного веса возможно только при условии одновременного повышения квалификации загрузочных бригад и проведения ряда организационно-технических мероприятий, таких как твердый порядок взвешивания загрузочных вагонов, соответствующая премиальная система зарплат и т. д.

Кроме того, не исключена целесообразность пересмотра некоторых конструктивных элементов печей и механизмов, например: увеличение высоты бункеров загрузочного вагона и уменьшение их конусности, увеличение сечения горловин бункеров и загрузочных люков с изменением их формы.

Механические методы увеличения насыпного веса

Трамбование

Наиболее резкое повышение величины насыпного веса смеси в камере достигается трамбованием или прессованием смеси. Для этого дробленая угольная смесь в соответствующей трамбовочной машине уплотняется механическим способом в угольный блок, который затем целиком вдвигается в камеру коксовой печи. Вес 1 м³ такого блока достигает 1,05—1,1 т. Кроме повышения веса единицы объема угольной загрузки, при этом улучшается качество кокса. Для достижения этих целей на многих коксовых заводах за рубежом было предложено большое количество способов и приспособлений для трамбования угля.

Работа, необходимая для уплотнения шихты в трамбовочной машине, определяется по уравнению

$$\int_0^{\tau} A dt = M \sqrt{2gH}, \quad (4, IV)$$

где A — работа уплотнения, кгм;

M — масса трамбовки, кг;

τ — время удара;

t — время передачи кинетической энергии трамбовки к частицам загрузки, сек.;

H — высота падения трамбовки;

g — 9,81 м/сек².

Как показали Грузон и Скоддов [180], зависимость между работой трамбования и плотностью трамбованной шихты может быть выражена уравнением

$$\gamma_{\text{тр}} = b \lg A + c. \quad (5, IV)$$

При минимальной работе трамбования ($A = 1$) постоянная c соответствует насыпной шихте.

Постоянные величины b и c определяются степенью измельчения и влажностью шихты.

Максимальное давление в уплотняемом слое шихты ($\sigma_{\text{макс}}$) достигается через τ сек. с момента приложения поверхности трамбовки к уплотняемой шихте.

При изучении процесса трамбования грунтов в условиях, близких режиму уплотнения угольной загрузки, время удара τ принимается 0,03 сек.

Удельный импульс удара (i) равен отношению импульса удара I к рабочей поверхности трамбуемой части машины

$$i = \frac{I}{f} = \frac{Q \sqrt{2gH}}{gf} \text{ кг} \cdot \text{сек}/\text{см}^2. \quad (6,IV)$$

Режим уплотнения должен проходить в условиях

$$\sigma_{\text{макс}} < \sigma_p; \quad i < i_p,$$

где σ_p — предел прочности утрамбованной загрузки, $\text{кг}/\text{см}^2$;
 i_p — предельный удельный импульс удара, при котором происходит разрушение уплотняемого угля.

Для получения максимального уплотнения шихты величины $\sigma_{\text{макс}}$ и i должны быть по возможности высокими.

Оптимальным считается режим уплотнения при условиях

$$\frac{\sigma_{\text{макс}}}{\sigma_p} \approx 0,9 \quad \text{и} \quad \frac{i}{i_p} \approx 0,9.$$

По данным А. Шпилевича [127], в условиях Польской Народной Республики принимается следующий нормальный режим трамбования:

Количество трамбуемых устройств (u)	6
Вес трамбуемого устройства (Q), кг	200
Высота падения (H), м	0,4
Время трамбования (t), мин.	15
Количество ударов в минуту (n)	60
Рабочая поверхность трамбуемого устройства (f), м^2	0,06
Скорость движения трамбуемого устройства по горизонтали, $\text{м}/\text{сек.}$	12
Количество уплотняемых слоев	6
Толщина уплотняемых слоев, м	0,55—0,60
Количество ударов в цикле трамбования загрузки	5400
Количество ударов на один слой	900
Содержание класса ниже 3 мм в угольной загрузке, %	95
Влажность шихты, %	8,5

Отсюда подсчитываем $\sigma_{\text{макс}} = 6,3 \text{ кг}/\text{см}^2$; $i = 0,095 \text{ кг} \cdot \text{сек}/\text{см}^2$ и $A = 432000 \text{ кгм.}$

)*

Если условно принять механические свойства уплотненного угольного пирога близкими к свойствам грунта средней связности, для которого $\sigma_p = 7-8 \text{ кг/см}^2$; $i_p = 0,09-0,10 \text{ кг·сек/см}^2$, то получатся отношения $\sigma_{\text{макс}}/\sigma_p$ и i/i_p , близкие к 0,9.

Недостатком приведенного режима является низкая производительность трамбующих устройств, смонтированных в одной трамбовочной машине. Это также определяет низкий коэффициент равномерности насыпного веса уплотненного пирога, связанного с уплотнением толстыми слоями.

Приведем основные показатели качества трамбованных угольных шихт и получаемого из них металлургического кокса за 1958 г.

Технический анализ шихты, %:	
выход летучих веществ (V^T)	30,5—33,9
влажность (W^P)	8,5—9,5
зольность (A^C)	7,0—8,5
Спекаемость и коксующесть	
индекс Рога	45—55
Толщина пластического слоя, мм	9—13
Пластометрическая усадка, мм	21—30
Измельчение ниже 3 мм, %	90—97
Объемный вес загрузки на сухой уголь, т/м^3	0,94—0,98
Ширина угольного пирога, м	0,40—0,43
Ситовый анализ валового кокса по классам, %:	
выше 40 мм	73,2—86,2
40—20 мм	7,1—19,7
20—10 мм	0,8—2,2
10—0 мм	4,5—5,3
Механическая прочность металлургического кокса	
по микум-барабану:	
М-40	55,6—69,7
М-10	5,9—9,6
Пористость, %	45—49

Исследования М. Добровольского [34], а также Б. Калиновского и А. Шпилевича [47], показали, что нормальный режим трамбования позволяет увеличить объемный вес загрузки до $0,96 \text{ т/м}^3$, или примерно на 30% по сравнению с насыпной загрузкой. Применение вибрационного питателя, увеличение количества ударов, уменьшение толщины уплотняемых слоев, по-видимому, позволит повысить объемный вес угольного пирога до 1 т/м^3 (на сухой вес). Уплотнение шихты до объемного веса 1 т/м^3 в условиях Польской Народной Республики приводит к некоторому улучшению показателей М-40 и М-10, но после определенного предела повышение объемного веса угольного пирога не влияет на качество кокса.

Оборот печей при прочих равных условиях удлиняется на 7—8% (с 19 час. 30 мин. до 26 час.).

Одновременно с этим при работе с трамбованной шихтой уменьшается степень использования объема камер коксования. Так, если полезный объем камеры равен $21,8 \text{ м}^3$, то при работе с трамбованной шихтой он составляет только $18,9 \text{ м}^3$.

Между работой трамбования и механическими свойствами кокса отсутствует прямая зависимость. Можно считать, что качество кокса улучшается по мере удлинения времени трамбования с 15 до 25—30 мин., т. е. при увеличении работы трамбования с 27000 до 43000—54000 кгм на тонну сухой шихты. При дальнейшем увеличении времени трамбования выход кокса класса выше 40 мм остается практически постоянным; объемный вес угольного пирога незначительно увеличивается.

Коэффициент использования камер коксования может быть повышен до 0,93 путем строительства камер без конусности и сужения зазоров между угольным пирогом и стенками камер на 10—15 мм на каждую сторону.

Объемный вес уплотненной загрузки весьма значительно колеблется, составляя от $0,9 \text{ т/м}^3$ в верхней части пирога с машинной стороны до $1,12 \text{ т/м}^3$ в нижней и средней частях пирога.

После ввода в камеру коксования угольный пирог деформируется, так как между пирогом и стенками камер имеются зазоры. Наибольшее разрушение наблюдается в головных и пристеночных частях пирога, наименьшее — в нижней и центральной частях его. Размер этих деформаций уменьшается при применении камер коксования без конусности.

Деформация и разрыхление внешних частей угольного пирога определяет непостоянство качества получаемого кокса. Кокс с наибольшей механической прочностью получается из центральных частей пирога, и с наименьшей из головных и верхних частей угольного пирога.

Вышеприведенные данные показывают, что предварительное трамбование — эффективный способ переработки угольных шихт из малометаморфизованных углей с высоким выходом летучих веществ.

В условиях Польской Народной Республики прочность кокса, получаемого из трамбованной шихты, не уступает прочности кокса, получаемого из нетрамбованных шихт хорошей коксуемости.

Трамбование шихт пониженной коксуемости ($y = 3—13 \text{ мм}$) с выходом летучих веществ 30—32% должно быть связано с постоянством состава шихты и тонким ее измельчением (95—97% под сито 3 мм). Следует также предусмотреть возможность дифференцированного дробления отдельных ее компонентов.

Трамбование угольной шихты трудоемкий процесс, осложняющий работу коксовых машин и затрудняющий циклическую выдачу кокса.

Необходимо отметить противоречивость мнений о влиянии трамбования шихты на качество кокса. Так, например, в противоположность к вышеописанным положительным результатам трамбования, Добровольский [34], проводя опыты на коксохимическом заводе в Гливице, установил, что при трамбовании шихты улучшается только показатель М-10, но не М-40.

В Советском Союзе вопросами повышения насыпного веса угля вообще и трамбования угля в частности много занимался Н. П. Чижевский. Им были осуществлены опыты по улучшению качества кокса, получаемого из судженских углей, путем их предварительного трамбования. Позже Н. П. Чижевским были проведены подробные исследования коксования различных углей Кузбасса в трамбованном виде. В 1929 г. на коксовой установке в Щербиновке, снабженной трамбовочной машиной, Институтом стали под руководством Н. П. Чижевского были организованы работы по уплотнению угля. Была проведена опытная загрузка шести печей обычной для данного завода угольной смесью, дробление которой производилось на дезинтеграторе. Содержание класса $> 2,5$ мм составляло 10,5—12,0%; зольность смеси 7,46—9,27%. Из опытных шести загрузок две печи были загружены простой засыпкой, две печи — в трамбованном виде и две печи — при усиленном трамбовании. Данные этих испытаний сведены в табл. 8.

Таблица 8

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ
КОКСОВАНИЯ ОБЫЧНОЙ И ТРАМБОВАННОЙ ШИХТЫ

Метод загрузки	Засыпка	Трамбование	Усиленное трамбование
Продолжительность трамбования, мин.	—	46,5	32,5
Объем загрузки, м ³	10,895	8,84	8,84
Вес загрузки, кг (сухого угля) . . .	7816,5	9657,5	10756
Влажность шихты, %	8,46	9,26	8,7
Выход летучих, %	22,37	22,94	22,39
Вес 1 м ³ загрузки, т/м ³	0,715	1,09	1,213
Увеличение загрузки, %	—	23	37
Продолжительность коксования, час.—мин.	35—45	41—03	40—53
Выход сухого кокса, кг	6066	7703	8528
Производительность по коксу, кг/сутки	4076	4501,5	5047,5
Увеличение производительности, %	—	10,3	23,7
Баранная проба кокса, кг	312,5	333	332
Количество мелочи, %	4,9	4,2	3,5

Результаты этих опытов показывают, что при трамбовании вес единицы объема угольной загрузки поднялся с 0,715 до 1,09 т/м³, а при усиленном трамбовании составил 1,213 т/м³. Это обстоятельство создало возможность соответствующего повышения разовой загрузки при трамбовании на 23% и при усиленном трамбовании до 37%. При коксовании трамбованного угля продолжительность коксования увеличилась, однако суточная производительность печей по сухому коксу все же оказалась для трамбованного угля на 10,3%, а для угля, подвергавшегося усиленному трамбованию, на 23,7% выше по сравнению с производительностью печей, засыпанных углем обычным способом.

Н. П. Чижевский и Ф. А. Попутников показали, что качество кокса при коксовании трамбованной смеси, состоящей из 50% угля Ж и 50% угля Т, получается значительно выше, чем из этой же смеси без трамбования (при этом необходимо также тонкое измельчение тощих углей).

Л. И. Еркин, Л. И. Лобанова и М. А. Бернацкая [38] провели опытные коксования восточных углей с применением трамбования.

В первой стадии исследования подготовка угля и условия коксования оставались по существу неизменными. Результаты опытных коксований, сопоставленные в табл. 9, показывают, что только для шихт 6 и 7 предварительное трамбование вызвало заметное повышение прочности кокса. Обращает на себя внимание, что обе шихты отличаются пониженным выходом летучих веществ. При коксовании остальных трех шихт (8—10) трамбование приводит лишь к небольшому повышению прочности кокса по барабану либо даже к некоторому ее понижению. Из табл. 9 видно, что эти шихты характеризуются выходом летучих веществ выше 30%.

Таблица 9
РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЫТОВ ПО ТРАМБОВАНИЮ КУЗНЕЦКИХ УГЛЕЙ

№ шихты	Состав шихты, %					Характеристика шихты			Барабанный остаток кг		
	К	Ж ₂	Г ₃	Г ₂	СС	V, %	У, мм	< 3 мм, %	насыпка	трамбо-валле	сильное трамбовање
6	20	20	20	—	40	26	13,5	95	231	287	—
7	30	20	—	—	50	21,3	12,0	95	238	282	—
8	—	20	50	—	30	33,8	12,0	95,6	267	259	—
9	—	20	—	35	45	30,0	10,2	96,7	291	290	293
10	20	20	40	—	20	30,8	12,9	95,2	288	288	299

Более благоприятные результаты были получены во второй стадии исследования кузнечных углей, посвященной оценке влияния способа и степени измельчения углей при коксовании с применением трамбования. При этом было испытано несколько схем избирательного дробления.

Особенно успешным оказалось испытание шихты 10 (см. табл. 9). Если трамбование этой шихты, измельченной до обычной степени, позволило увеличить барабанный остаток до 299 кг, то сочетание трамбования и тонкого измельчения (100% до 2—0 мм) привело к повышению остатка в барабане до 308—310 кг. Наконец, при избирательном дроблении шихты и применении трамбования удалось получить кокс с остатком в барабане 316—324 кг.

Таким образом, шихта из кузнечных углей, содержащая 40% газового угля и 20% угля марки СС дает после предварительного трамбования удовлетворительный по прочности доменный кокс.

Затем испытания были проведены на карагандинских углях. Результаты показали, что с помощью трамбования угольной загрузки из одного концентрата Карагандинской ЦОФ или при небольшой добавке к нему жирного угля может быть получен доменный кокс с остатком в барабане 315—320 кг.

Опыты промышленного коксования шихты из кузнечных углей с применением трамбования были проведены Восточным углехимическим институтом в 1958 г. на заводах Польской Народной Республики [40]. После предварительных печных коксований на коксохимическом заводе «Здзешовице» было проведено в течение 7 смен заключительное батарейное коксование трамбованной шихты из кузнечных углей. Коксование велось в камерах со средней шириной 505 мм. Трамбование угольного пирога выполнялось в семь слоев в течение 15—16 мин. Для опытного промышленного коксования была взята шихта, содержащая 50% недефицитных кузнечных углей (30% энергетического газового шахты Польшаевской и 20% марки ОС шахты № 9—15).

В первом периоде батарейных испытаний был получен кокс с недостаточно высокой механической прочностью. Остаток в большом барабане в среднем составил 307 кг. Содержание класса 10—0 мм в подбарабанном провале изменялось от 45 до 57 кг. Во втором периоде степень измельчения шихты была повышена до 98,3% содержания класса 3—0 мм и продолжительность трамбования увеличена до 18 мин. Благодаря этим мерам остаток в большом барабане достиг 320 кг, содержание класса 10—0 мм в подбарабанном провале понизилось до 44—40 кг. Выход металлургического кокса крупностью выше 40 мм составил 85,3%.

Следует учитывать, что опытное коксование проведено в камерах коксования чрезмерно большой ширины при относительно низкой температуре обогрева ($1317\text{--}1321^\circ$ в средних вертикалах) и недостаточно равномерном распределении температуры по длине камер и батарей.

Для получения кокса высокого качества из трамбованных шихт с большим участием кузнечких слабоспекающихся углей необходимы:

а) высокая степень измельчения шихты, соответствующая $98\text{--}99\%$ содержания класса $3\text{--}0$ мм;

б) повышение средней плотности угольного пирога до $1,00\text{--}1,05$ т/м³ при достаточной равномерности ее;

в) использование для коксования с трамбованием шихты коксовых печей с шириной камеры около 450 мм;

г) поддержание более высокой температуры накала вертикалов по сравнению с принятым в польской практике.

На металлургическом комбинате в г. Хунедоара (Румынская Народная Республика) работают построенные по проекту Гипрококса три коксовые батареи по 47 печей с предварительным трамбованием шихты. Средняя ширина камеры 460 мм; высота угольного пирога 3550 мм, ширина 420 мм, объем $18,35$ м³.

Трамбовочная камера загружается $10\text{--}11$ слоями высотой по $450\text{--}500$ мм. Каждый слой утрамбовывается двумя трамбовочными машинами. Трамбование ведется в течение $14\text{--}15$ мин. Объемный вес угольного пирога поддерживается в пределах $1,05\text{--}1,10$.

При коксовании трамбованных шихт с участием 60% газовых углей, $7\text{--}9\%$ полукокса и $31\text{--}35\%$ хорошококующихся углей получен кокс удовлетворительного качества с остатком в барабане $312\text{--}322$ кг и подбарабанным остатком класса $10\text{--}0$ мм 38 кг.

Полукокк подвергается трехкратному дроблению и содержание в нем класса $2\text{--}0$ мм составляет 96% . Установлено, что оптимальной является степень готовности полукокса при выходе летучих веществ на сухую массу $13\text{--}15\%$. Полукокк может быть заменен отощенным слабоспекающимся углем при измельчении его до содержания класса $2\text{--}0$ мм не менее $92\text{--}95\%$.

Поскольку угольный пирог в печи во время коксования, а коксовый пирог во время выдачи не разрушаются, нет необходимости в применении конусности в камере коксования.

Эффективность предварительного трамбования шихты может быть повышена путем ряда мероприятий. Объемный вес угольного пирога может быть доведен до 1 т/м³ (на сухой уголь), т. е. увеличен на 4% . Для этой цели должны быть применены резонансные питатели с регулируемой амплитудой, уве-

личена частота ударов в единицу времени и уменьшена толщина отдельных слоев. Коэффициент использования полезного объема камеры может быть доведен до 0,93 путем отказа от конусности камеры, а также снижения ширины щели между угольным пирогом и камерой до 10—15 мм с каждой стороны. Время оборота трамбовочной машины может быть доведено до 15 мин. [130].

Несмотря на высокие показатели работы, достигнутые при применении трамбования угля, этот способ не нашел распространения на наших коксохимических заводах по следующим причинам:

а) добыча углей, из которых могли быть приготовлены смеси, дающие и без трамбования кокс удовлетворительного качества, покрывала потребности металлургии в коксе;

б) большая стоимость и громоздкость трамбовочных машин и сложность работы с ними;

в) очень низкий коэффициент полноты загрузки — K при высоком весе единицы угольного блока; этот недостаток характерен для работ с применением трамбовочных машин.

Чтобы приготовленный угольный блок загрузить в камеры, габариты его делают меньше, чем полезные размеры камеры. Это обстоятельство создает большую неполноту загрузки, и полезный объем камеры в 21,8 м³ при обычной загрузке сокращается до 18,9 м³ при трамбовании шихты. Сокращение полезного объема характеризуется коэффициентом $K_1 = 0,86$.

Кроме того, газовые прослойки между стенками камеры и угольного блока создают невыгодные условия теплопередачи, в результате чего продолжительность коксования значительно увеличивается. Принимая удлинение периода коксования с 19,5 до 21 часа, найден коэффициент $K_2 = 0,90$.

Однако в обычных условиях трамбования угольный пирог уплотняется до 0,96 т/м³, что по сравнению с коксованием при обычном способе загрузки шихты при насыпном весе 0,74 т/м³ дает увеличение разовой загрузки, характеризуемое коэффициентом $K_3 = 1,30$.

Отсюда:

$$K = K_1 K_2 K_3 = 1,05,$$

или в существующих условиях применение трамбования увеличивает производительность одной камеры примерно на 5%.

За рубежом имеется большое количество коксовых печей, приспособленных для работы с применением трамбования угля.

Отметим, что из 65 батарей коксовых печей, работавших в 1958 г. в Польской Народной Республике, 60 батарей работало на трамбованной шихте.

Это вызывается необходимостью получения кокса нормального качества из плохо коксующихся углей. Применение трамбования угольной загрузки оправдывается, очевидно, не соображениями повышения веса единицы загрузки, а высоким качеством кокса, что не может быть достигнуто при загрузке данной угольной смеси в камеру коксования обычным методом — засыпкой.

Проведенные Харьковским углехимическим институтом исследования промышленного масштаба по коксованию предварительно трамбованных шихт из донецких углей с участием марки Т и Д показали, что в условиях Донбасса трамбование шихты не представляет дополнительных возможностей расширения ресурсов углей для коксования. Наряду с этим необходимо иметь в виду, что применение трамбования связано с рядом неблагоприятных технико-экономических факторов [60].

В то же время, рассматривая эффективность применения механического уплотнения шихты, В. Д. Гвоздев и И. И. Фивинцев [21] показали расчетом, что среднее время оборота печи при коксовании утрамбованной шихты равно 18,3 часа, суточная производительность коксового блока из 61 печи составляет 3240 т кокса. Расходы на дополнительное оборудование с механическим уплотнением шихты окупятся в течение 3,2 месяца.

Оценивая приведенные выше опытные данные, следует учитывать, что под прочностью кокса подразумевалась прочность кускового кокса, для оценки которой используется величина остатка в барабане. Но прочность кускового кокса зависит от структурной прочности кокса, т. е. от прочности тела кокса и от крупности и трещиноватости кусков кокса. Трамбование угольной шихты одновременно воздействует на крупность кусков и их трещиноватость. Крупность кусков кокса, как правило, уменьшается по мере увеличения степени уплотнения угля. Структурная прочность кокса, напротив, растет при увеличении степени уплотнения угля. Следовательно, существуют два противоположных фактора воздействия уплотнения шихты на прочность кускового кокса [40]. Этими соображениями объясняется получаемое иногда отрицательное влияние трамбования шихты на качество кокса.

Анализ проведенных исследований позволяет сделать некоторые обобщения.

Предварительное трамбование целесообразно лишь в применении к определенным углям и шихтам. Применение его дает наибольший эффект для шихт со значительным участием газовых и слабоспекающихся углей, дающих при обычном насыпном коксовании металлургический кокс лишь самого низкого качества; при коксовании с трамбованием из таких шихт мо-

жет быть получен кокс вполне удовлетворительного качества. Применение трамбования позволяет успешно коксовать шихты с выходом летучих веществ 30% и выше; толщина пластического слоя в этих шихтах может составлять 11—13 мм.

Эффективность трамбования шихты в значительной степени определяется способом и степенью ее измельчения. Степень измельчения шихты должна быть тем больше, чем выше выход летучих веществ из нее. Подбор способа и степени измельчения должен осуществляться индивидуально для каждой данной шихты.

Необходимо подбирать оптимальную степень уплотнения шихты, обеспечивающую максимальную прочность кокса при коксовании с трамбованием. При пониженной спекаемости шихты требуется высокая степень ее уплотнения для получения кокса удовлетворительной прочности. При повышенной спекаемости шихты целесообразно сочетание тонкого измельчения и умеренного уплотнения ее. Существенную роль также играет подбор оптимальной влажности шихты, подвергаемой трамбованию.

Трамбование шихты представляет интерес для восточных районов СССР, где имеется возможность подобрать шихты со значительным участием газовых и слабоспекающихся углей, которые при коксовании трамбованной шихты могут дать кокс высокой прочности.

Вибрационное уплотнение

В последние годы сделано большое количество предложений по уплотнению угольной шихты с помощью вибрационных устройств.

Вибрационные штанги. Опускаемые из бункеров загрузочного вагона вибрационные штанги неудобны в эксплуатации и не обеспечивают достаточно равномерного уплотнения угольной загрузки.

Вибрационные стержни, вставляемые с боковых сторон камеры, должны обеспечивать во время загрузки шихтой более равномерное уплотнение шихты по высоте. Однако применение таких устройств вызывает большие неудобства в эксплуатации.

Планирная штанга с вибратором. В конструкции, предложенной И. Я. Пильским [85], должно быть исключено влияние вибрации на кладку печей и на коксовыталькиватель из-за передачи вибрации через пластину-утюжок непосредственно угольной загрузке.

Все эти предложения пока не получили практического применения.

Брикетирование части шихты

Представляет интерес предложенный П. И. Турченко способ увеличения среднего насыпного веса угольной загрузки в камере коксования путем введения в угольную смесь брикетов, заранее изготовленных из той же угольной смеси [108].

Поскольку объемный вес угольных брикетов достигал $1,16 \text{ т/м}^3$, средний насыпной вес при введении в загружаемую угольную смесь $14,6\%$ брикетов увеличился; величина разовой загрузки возросла на 8% .

Яко [242] получил яйцевидные брикеты из углей классов 411—421 с добавкой 8% нефтяного битума и подверг их коксованию в смеси с измельченными углями классов 521—532. Добавка измельченного угля применялась только для заполнения свободных промежутков между брикетами. При равном весе-вом участии брикетов и измельченного угля он получил в вертикальной печи кокс с показателями М-40 от 62 до 73% и М-10 от 10 до 12% . В работе отсутствуют данные, позволяющие судить о степени улучшения качества кокса по сравнению с небрикетированной шихтой.

Аналогичные опыты были проведены Шмидтом и Ханке [242] с различными брикетами и газовыми углями одного и того же происхождения. Ими было установлено, что минимальный объем свободных промежутков соответствует $60\text{—}70\%$ участия брикетов в шихте. Опытные коксования не показали значительного положительного эффекта даже при коксовании брикетов из газового угля в смеси с измельченным жирным углем.

Этот метод не вышел еще из стадии опытной проверки. Весьма важно получить эксплуатационные показатели применения предварительного брикетирования части угольной смеси как в отношении увеличения производительности коксовых печей, так и в отношении качества получаемого кокса.

Брикетирование всей шихты

Практика показала, что при применении метода трамбования для углей с высоким выходом летучих веществ необходимая прочность угольного пирога может быть обеспечена в том случае, если высота его превышает ширину не более чем в девять раз. В связи с этим для коксования углей в трамбованном состоянии до сих пор строили коксовые печи с камерами коксования не выше 4 м.

Фирма Штиль для печей с высотой камер выше 4 м (в частности, для печей высотой 6 м) предложила метод загрузки угля в печи не целым трамбованным пирогом, а в виде брике-

тов. Брикетты эти загружаются в печи при помощи загрузочного вагона через загрузочные отверстия. Схема установки для брикетирования угольной шихты и загрузки брикеттов в печи показана на рис. 18.

Угольная шихта дробится в молотковых дробилках до 90—95% содержания частиц 0—2 мм и с влагой 6—10% загружается в угольную башню. Под угольной башней между ее выпускными затворами и загрузочным вагоном располагается устройство для брикетирования шихты. Оно состоит из ленточного транспортера 2, на который подается угольная шихта из выпускных затворов угольной башни, и брикетных прессов 3. Выходящие из прессов брикетты шарообразной или яйцевидной формы по желобам 4 поступают на вертикальные ковшовые транспортеры 5 и 6, подвешенные на электрических подъемниках 7. При помощи этих подъемников транспортеры можно опускать и поднимать. В начале операции заполнения брикеттами бункеров загрузочного вагона ковшовые транспортеры устанавливаются в нижнем положении. По мере заполнения бункеров загрузочного вагона производится подъем ковшовых транспортеров при помощи электроподъемников. Такой способ загрузки бункеров загрузочного вагона имеет целью максимально сохранить от боя загружаемые в печь угольные брикетты. Затем производится загрузка камеры коксовой печи брикеттами через загрузочные отверстия. Желоба 4, расположенные под брикетными прессами, имеют в днищах отверстия размером 10 мм для отсева угольной мелочи от брикеттов. Эта мелочь возвращается в угольную башню и поступает затем снова на брикетные прессы. При коксовании углей с высоким выходом летучих веществ (например, саарские угли с выходом летучих веществ 32—35%), обычным насыпным способом угли должны подвергаться тонкому измельчению до 95% класса 0—2 мм. При таком тонком измельчении насыпной вес угля снижается до 620—650 кг/м³ в пересчете на сухую массу, что оказывает отрицательное влияние на качество кокса. При коксовании трамбованного угольного пирога, имеющего объемный вес около 950 кг/м³, получается трещиноватый непрочный кокс.

По тем же данным, практика показала, что наилучший кокс получается в том случае, когда объемный вес угольной загрузки составляет 780—840 кг/м³ в зависимости от свойств угля. Такой объемный вес угольной засыпки в коксовой печи может быть обеспечен путем подачи в нее угля в виде брикеттов, приготовленных под давлением 200—1000 кг/см² из угля без применения связующих материалов при влажности в пределах 8—10%. Величину давления брикетирования нужно выбирать в зависимости от степени разрушения брикеттов при сбрасывании их из загрузочного вагона в камеру коксования.

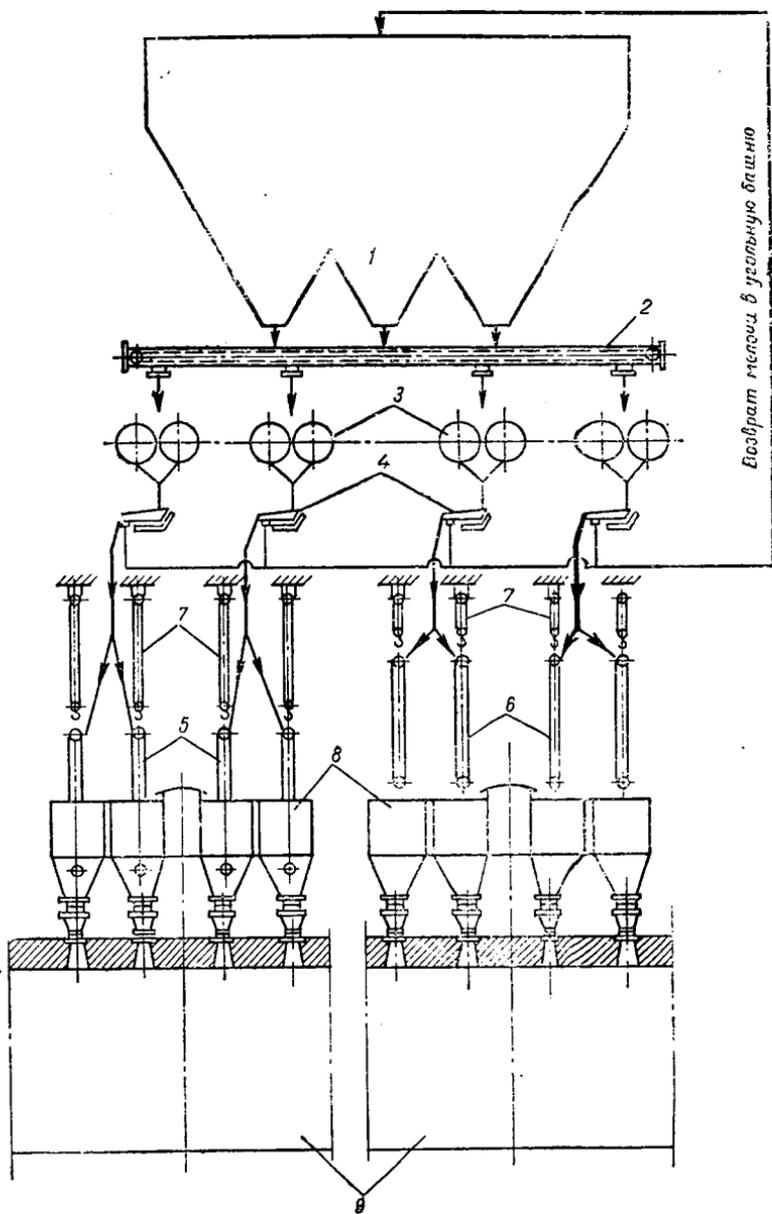


Рис. 18. Схема установки для приготовления угольных брикетов и загрузки их в коксовые печи:

1 — угольная башня; 2 — ленточный транспортер (питатель); 3 — брикетные прессы; 4 — желоба; 5 — опущенные ковшовые транспортеры; 6 — поднятые ковшовые транспортеры; 7 — электрические подъемники; 8 — углезагрузочные вагоны; 9 — камеры коксования

Если бы угольная загрузка в камере коксования состояла только из целых брикетов, объемный вес ее был бы равен примерно 720 кг/м^3 , несмотря на то, что удельный вес самого брикета равен $1,2 \text{ кг/л}$. Это объясняется тем, что при загрузке целыми брикетами объем пустот между ними составляет около 40% общего объема загрузки. Регулируя давление, которому подвергают уголь при брикетировании, получают более или менее прочные брикеты, которые при загрузке в камеру коксования будут в некоторой степени разрушаться. Это дает возможность регулировать степень заполнения пустот между отдельными брикетами и, таким образом, поддерживать объемный вес загрузки в камере коксования на уровне, обеспечивающем получение кокса хорошего качества. Например, качество кокса на заводе в Фольклингене, где этот метод реализован на батарее в 40 печей характеризуется показателями М-40: 74,6—77% и М-10: 6,8—6,3%.

Такой способ коксования с загрузкой в коксовые печи угольных брикетов, по мнению авторов, обеспечивает меньшие расходы на производство, чем при обычном трамбовании.

Предварительная грануляция

П. И. Канавец с сотрудниками [14, 22] предложил способ уплотнения угольных шихт путем предварительной их грануляции. Этот способ основан на агломерации малых частиц угля путем поверхностного натяжения пленок воды при окомковывании (грануляции) материала на дисковых грануляторах. На рис. 19 показана технологическая схема уплотнения угольной шихты методом грануляции.

Угли подвергаются обычному измельчению до класса крупностью 3 мм, а затем из бункера 1 поступают на грохоты 2, где разделяются на два класса — менее 1,0 мм и 1,0—3 мм.

Класс ниже 1,0 мм из тарельчатого питателя 3 дозируется на 4—5-м гранулятор 4, где с водой или мазутом или водно-масляной эмульсией подвергается уплотнению методом окатывания. Производительность 3—4 м гранулятора ориентировочно должна равняться 400—500 т в сутки.

Полученные гранулы транспортируются в бункер 5, откуда в количестве 65% от смеси, идущей на коксование, поступают на транспортную ленту 6, оборудованную вибратором или вибротрубой 7.

На ленту одновременно подается отсев класса выше 1,0 мм и часть нерассеянной шихты из бункера 1 в количестве 35%. На ленте 6 происходит смешение и уплотнение смеси гранул и засыпки. Эта смесь поступает на коксование.

Возможна другая принципиальная схема — без предварительного отсева измельченного угля до класса 0—3 мм. В этом случае вся смесь целиком подается на гранулятор, на котором при смачивании в гранулы закатывается мелкий класс 0,5 — 0 мм, кроме этого, он накатывается на крупные частицы угля, служащие зародышами образования гранул. Насыпной вес та-

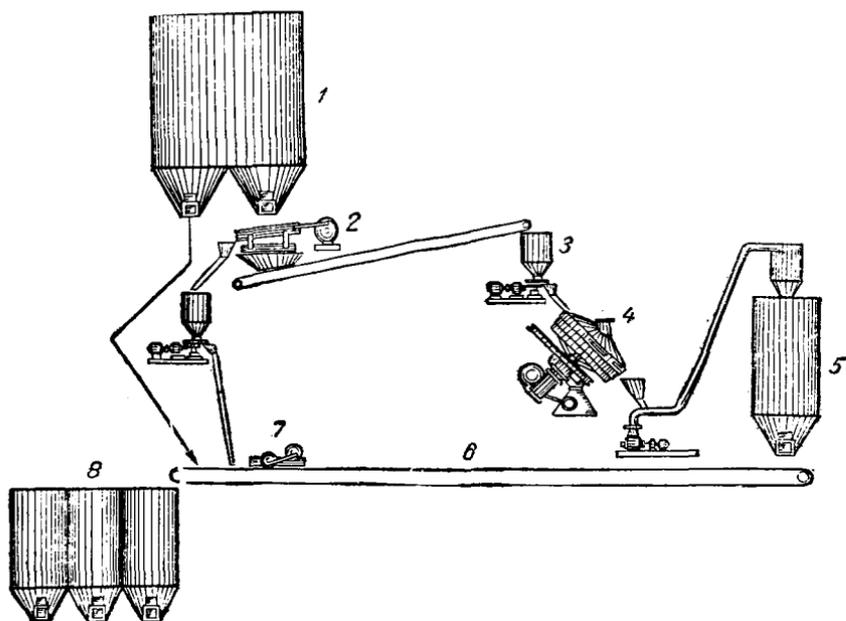


Рис. 19. Технологическая схема подготовки углей для коксования методом грануляции:

1 — бункер; 2 — грохот; 3 — тарельчатый питатель; 4 — гранулятор; 5 — силос для гранул; 6 — сборный транспортер шихты; 7 — вибратор; 8 — загрузочные бункера

кой смеси равен 0,75. При смешении в соотношении 1 : 1 с углем обычного измельчения (0—3 мм) насыпной вес гранулированного угля повышается до 0,90—0,95.

Проведенные опытные лабораторные работы подтверждают принципиальную возможность получения металлургического топлива из гранулированных шихт различных марок углей.

В настоящее время проведены работы по ящичному коксованию гранулированных шихт на Нижне-Тагильском металлургическом комбинате.

7 А. А. Агроскин, А. К. Шелков

Смачивание угля микродобавками углеводородных жидкостей

Теоретические основы метода

Сущность метода А. А. Агроскина [7—10] заключается в том, что при добавлении к влажному углю небольших количеств углеводородных жидкостей имеет место аномалия его насыпного веса. На рис. 20 показана зависимость насыпного веса угольной смеси Кузнецкого комбината от количества добавляемого керосина. Насыпной вес угля резко возрастает при введении в него

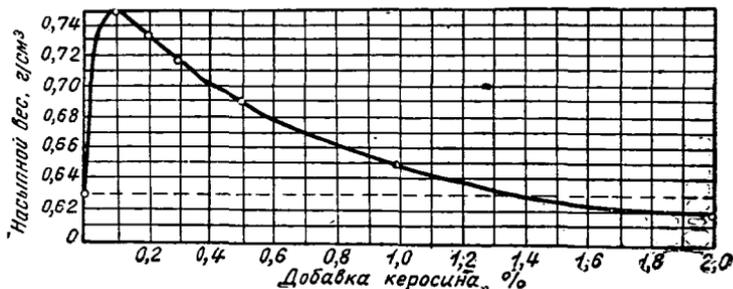


Рис. 20. Зависимость насыпного веса угля от количества добавляемого керосина

сотых долей процента керосина и достигает максимума при добавке около 0,1%. При дальнейшем увеличении количества добавляемого реагента насыпной вес начинает уменьшаться и при добавке около 1% достигает начальной величины. Если же содержание керосина довести до 2% и более, насыпной вес угля падает до 96—98% от обычного.

Экспериментальная зависимость насыпного веса угольной смеси от ее влажности и от добавки углеводородных жидкостей в настоящее время может быть достаточно удовлетворительно объяснена теоретически.

Углеводородные жидкости в тонком слое обладают смазочными свойствами, уменьшая силы сцепления между частицами. Этот фактор — смазочное действие — содействует скольжению одной частицы по другой, препятствует образованию агрегата угольных зерен и приводит к уплотнению их укладки. В отличие от углеводов тонкие слои воды не облегчают взаимного скольжения частиц.

Вода обладает такой же способностью к гидродинамической смазке, как и углеводородные жидкости. Разница в этом отношении проявляется лишь постольку, поскольку для гидродина-

мической смазки необходимо хорошее смачивание поверхности жидкостью; пленки должны быть хорошо связаны с поверхностью. Вода смачивает преимущественно минеральные частицы угля, а углеводородные жидкости — гидрофобные элементы органической массы угля.

Вода могла бы действовать на насыпной вес угля тем сильнее, чем больше его зольность, поскольку при этом увеличивается действие сил молекулярного взаимодействия. Добавки небольших количеств влаги не оказывают заметного действия на насыпной вес угля с малым числом мозаичных площадок минеральных примесей, так как вода не способна к адсорбционной смазке в тонких пленках. По мере дальнейшего прибавления воды между частицами угля в кольцевой зоне, окружающей место их контакта, создаются капиллярные мениски, причем силы молекулярного сцепления прикладываются на значительно большей площади, чем при точечном контакте сухих частиц угля. В результате частицы влажного угля вследствие сил сцепления, проявляющихся между их поверхностями, коагулируют друг с другом, сливаясь тем сильнее, чем они мельче; возрастает коэффициент трения, что приводит к уменьшению насыпного веса угля. Однако после некоторого предела происходит образование сплошных прослоек воды между частицами сырого угля, и вода начинает играть роль гидродинамической смазки, уменьшая сцепление угольных частиц между собой. Таким образом, коэффициент трения уменьшается, и насыпной вес угля должен повышаться при дальнейшем увеличении количества добавляемой воды.

При добавлении к углю небольших количеств керосина или другой углеводородной жидкости большая часть реагента практически переходит в пленочное состояние, создавая лиосорбционные оболочки вокруг угольных частиц.

Простейшие соображения, основанные на рассмотрении сил, вызывающих прилипание частиц, приводят к выводу, что гидрофобные порошки, к которым относятся и угольные порошки, слипаются под влиянием молекулярных сил с соответствующим разрыхлением, преимущественно в полярных жидкостях — воде, по отношению к которой они имеют наибольшее значение удельной поверхностной энергии. При смачивании неполярной углеводородной жидкостью размер агрегатов частиц значительно ближе к первичным вследствие сравнительно малой поверхностной энергии на границе гидрофобная частица — неполярная жидкость, т. е. вследствие наличия защитных сольватных (лиосорбционных) оболочек дисперсной среды.

Углеводородные жидкости смачивают частицы угля, благодаря чему каждая частица заключена в жидкостную, достаточно прочную оболочку, не позволяющую частицам слипаться в

большие агрегаты. В случае же водной среды смачивание частиц угля доведено до минимума, частица как бы заключена в пустой пузырек несмачивающей жидкости, поэтому каждое столкновение приводит к слипанию угольных зерен. В результате отдельные частицы угля легко собираются в большие агрегаты.

Пленки углеводородных жидкостей облегчают соскальзывание частиц по поверхности друг друга, т. е. создает смазку между их поверхностями. Это устраняет образование агрегатов, в связи с чем и увеличивается насыпной вес угля. Начиная от некоторого предела, при избытке добавки тончайшие адсорбционные слои между частицами переходят в толстые пленки свободной жидкости, что приводит к усиленному слипанию угольных частиц и увеличению роли капиллярных сил, создающихся на поверхности менисков. Такое усиленное слипание должно вновь резко уменьшить насыпной вес угля. Меньшее количество добавки дает неполный эффект, так как адсорбционная пленка покрывает поверхность не всех угольных зерен.

Введение излишних количеств углеводородной жидкости вызывает еще несколько большее образование агрегатов, чем для угля без добавки, поскольку образовавшиеся толстые слои (пленки второй жидкой фазы) оболочки смачивания вызывают интенсивное слипание частиц при их соприкосновении. При увеличении количества керосина сверх оптимального насыпной вес падает ниже, чем для несмоченного угля, так как образующиеся капиллярные мениски жидкости склеивают угольные частицы значительно сильнее, чем это может быть сделано молекулярными силами, действующими только на поверхности истинного контакта. Следует также подчеркнуть, что несмотря на более плотную укладку частиц угля, смоченных углеводородной жидкостью, насыпной вес последнего может при этом не увеличиться, а даже несколько уменьшиться в результате расклинивающего действия защитных оболочек.

Изменение свойств поверхности угля при помощи поверхностно активных веществ. Особенность адсорбционной способности угля выражается в том, что он особенно сильно поглощает поверхностно активные вещества из их растворов в органических растворителях (например, в углеводородах). Это объясняется тем, что по правилу полярностей поверхностно активные вещества должны адсорбироваться преимущественно на границе с наибольшей разностью полярностей. Следует заметить, что поверхностно активными на границе твердая стенка — раствор могут быть и вещества, не активные на жидких поверхностях, так как поверхностная активность обладает резкой специфичностью.

При ориентации в адсорбционном слое и угольной поверх-

ности, менее полярной, чем водная среда, поворачиваются неполярные углеводородные части адсорбируемых молекул, а их полярные гидрофильные группы образуют наружный слой, покрывая всю поверхность как бы гидратированной пленкой, создающей постепенный переход к водной среде. Отсюда следует, что адсорбция углем поверхностно активных веществ увеличивает избирательное смачивание водой. Абсолютная величина положительного смачивания всегда убывает с увеличением концентрации поверхностно активных веществ. Примеси последних гидрофилизуют гидрофобную поверхность угля, понижая абсолютную величину ее смачивания неполярными жидкостями.

Таким образом, можно предполагать, что даже небольшие примеси поверхностно активных веществ могут значительно уменьшить эффективность обработки угольной смеси аполярными жидкостями. Это положение подтверждается результатами смачивания дробленого угля керосином с добавками изоамилового спирта и олеиновой кислоты [10].

Как показано на рис. 21, смачивание угля смесью 95% керосина и 5% изоамилового спирта снижает эффективность смачивания по сравнению с чистым керосином на 1,3—2,6%. Изоамиловый спирт сам по себе как жидкость промежуточной полярности дает относительно небольшое увеличение насыпного веса, причем величина оптимальной добавки возрастает до 0,3% по весу от угля.

На основе полученных данных следует также отметить, что повышение содержания поверхностно активных веществ вызывает увеличение оптимальной добавки углеводородной жидкости: оптимальное количество сольвент-нафты с увеличением содержания фенолов возрастает с 0,2 до 0,25%.

Для определения зависимости между поверхностным натяжением углеводородных жидкостей и эффективностью смачивания ими угля поверхностное натяжение ряда технических масел было подвергнуто экспериментальному изучению по разработанному П. А. Ребиндером методу наибольшего давления пузырей и капель. Опыты с различными продуктами коксохимического производства показали, что большой прирост насыпного веса угля дают те из них, которые имеют меньшее значение поверхностного натяжения на границе раздела жидкость — воздух. Так, например, тяжелый бензол, имеющий $\sigma = 28,6$ эрг/см², дает прирост насыпного веса угля на 10,8%, в то время как антраценовое масло с $\sigma = 40,8$ эрг/см² увеличивает насыпной вес лишь на 7,4%.

Масла, обладающие большим поверхностным натяжением на границе с водой, дают наибольший эффект увеличения насыпного веса угля. Эффективность смачивания угля керосином увеличивается по мере удаления из него поверхностно актив-

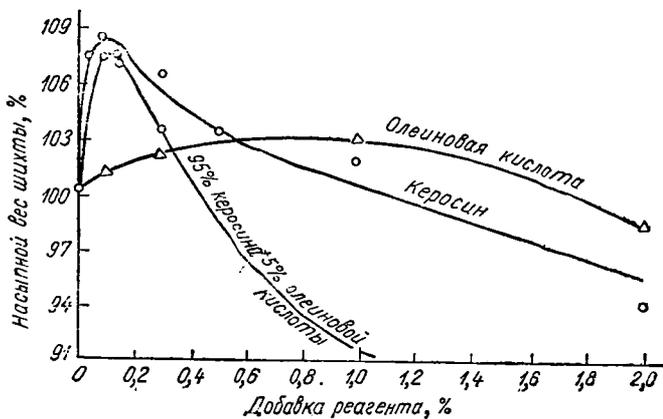
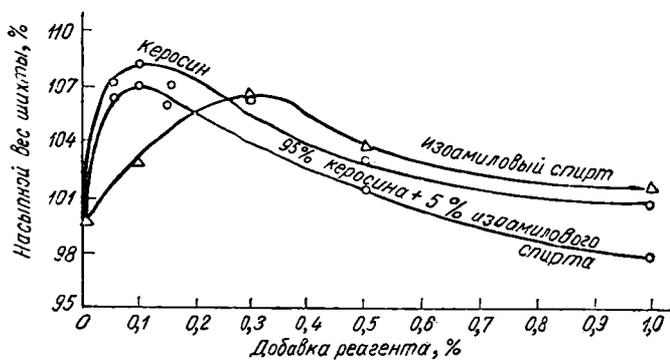
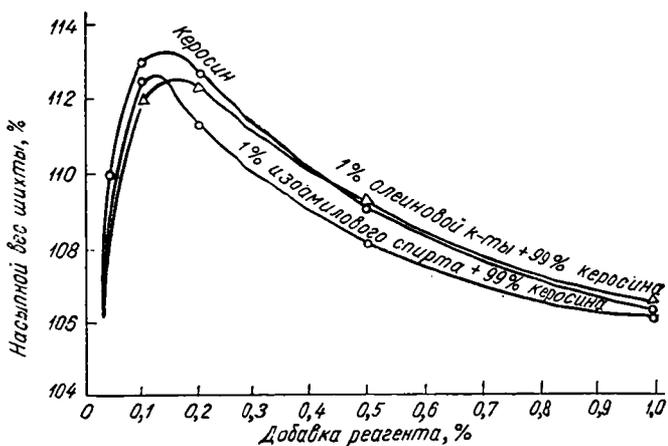


Рис. 21. Изменение насыпного веса угля в зависимости от добавки изоамилового спирта и олеиновой кислоты

ных веществ. Как следствие этого, насыпной вес угля растет с увеличением поверхностного натяжения керосина на границе раздела жидкость — вода.

Введение в уголь сильных поверхностно активных веществ типа натровой соли бутил-нафталин-сульфокислоты (некаля) в водном растворе оказывает существенное влияние на его насыпной вес. При добавке 0,125% некаля по весу от угля насыпной вес последнего возрастает на 12,8%. Эффект прироста насыпного веса угля, предварительно обработанного тем же количеством некаля, при смачивании оптимальным количеством керосина уменьшается с 10,5 до 0,5%. С увеличением количества некаля, вводимого с водой, поверхность угольных частиц делается более гидрофильной и смачиваемость их керосином резко уменьшается.

Как показали эксперименты, покрытие угольной поверхности тончайшим слоем пиролюзита приводит к ее частичной гидрофиллизации; в результате частичной гидрофиллизации насыпной вес влажного угля увеличивается (на 1,1—3,9%); для угля, смоченного оптимальным количеством керосина или скипидара, это увеличение несколько меньше (0,5—2,4%); влияние отложения пиролюзита на насыпной вес угля сказывается в большей степени по мере повышения его влажности.

Можно попытаться изменить в другую сторону природу поверхности угольного порошка и усилить ее гидрофобный характер. Для этого были проведены эксперименты по осаждению парафина на поверхности угольных зерен. Уголь обрабатывался раствором парафина в углеводородных жидкостях; при сравнительных определениях уголь смачивался теми же углеводородными жидкостями без парафина.

Проведенные эксперименты показывают, что кривые смачивания раствором парафина в углеводородной жидкости характеризуются широко растянутой областью высоких значений насыпного веса, в то время как те же углеводородные жидкости без парафина дают более резко обозначенный максимум.

Таким образом, на основе полученных результатов можно констатировать, что лиофилизация угольных зерен при помощи парафина увеличивает эффективность их обработки углеводородными жидкостями с одновременным возрастанием количества потребной оптимальной добавки реагента. Последнее обстоятельство, по-видимому, объясняется увеличением толщины сольватных слоев в результате адсорбции молекул парафина.

Избирательное смачивание и процессы взаимодействия воды с углеводородами на поверхности угля. Изучение избирательного смачивания угля является эффективным методом познания процессов, протекающих на поверхности углей при добавках жидкостей.

Угольная смесь для коксования представляет собой полидисперсную систему с довольно широким диапазоном изменения размера частиц и сильно развитой удельной поверхностью. Весьма важной характеристикой угольной смеси является ее насыпной вес, который резко изменяется в зависимости от содержания влаги, а также небольших добавок углеводородных жидкостей. Влага оказывает отрицательное влияние, т. е. резко уменьшает насыпной вес, а углеводородные жидкости, наоборот, как бы частично «нейтрализуют» вредное влияние воды и повышают насыпной вес.

Наблюдаемый эффект обусловлен явлениями, происходящими на поверхности раздела фаз твердое тело — вода — углеводородная жидкость — воздух; взаимодействием и равновесием сил поверхностного натяжения, адгезии и кохезии жидкостей, убылью свободной энергии поверхности раздела фаз.

Для понимания и управления данным процессом необходимо исследование поверхностных явлений, в частности определение краевых углов смачивания угольной поверхности водой и изучение явлений, происходящих на поверхности при образовании тонкой пленки органической жидкости.

Изучение краевых углов смачивания как характеристики флотационной способности различных минеральных веществ в течение ряда лет находит довольно широкое применение. Основной методикой, принятой при определении этих углов, является метод, предложенный П. А. Ребиндером.

При смачивании влажной угольной смеси небольшими добавками углеводородных жидкостей можно представить себе следующий механизм взаимодействия:

1) на капле воды образуется тонкая пленка углеводородной жидкости;

2) углеводородная жидкость вытесняет воду с поверхности угля;

3) оба эти процесса протекают одновременно.

Практическое решение этого вопроса было проведено двумя путями:

1) в условиях объемного погружения образца в жидкость и внесения капель другой жидкости;

2) в условиях нанесения капли воды с последующим образованием пленок органической жидкости.

С точки зрения взаимодействия двух взаимно нерастворимых жидкостей различной полярности имеет существенный интерес вопрос о поведении органической жидкости на угле, помещенном в водную среду.

Результаты опытов И. Г. Петренко [7] показывают, что в данных условиях углеводородные жидкости не вытесняют воду. Это

явление объясняется гидрофильностью минеральных частей угля. Кроме того, микропористость угля обуславливает заполнение этих пор водой, и, таким образом, углеводородная поверхность гидрофилизуется. Эти явления обуславливают наличие большого гистерезиса для органических жидкостей в водной среде, на преодоление которого тратится большая энергия, чем энергия, освобождаемая при смачивании.

Определение величины краевого угла смачивания в зависимости от порядка внесения жидкости, т. е. в зависимости от чередования жидкостей как смачивающей капли и испытуемой среды, производилось на угле марки К и антраците в условиях перестановки составляющих пар: вода — воздух и вода — керосин.

Опыты показали, что вода с поверхности угля керосином не вытесняется, как не наблюдается и обратное явление — вытеснение керосина водой. При этом как для антрацита, так и для угля марки К имеет место большой статический гистерезис смачивания, причем для случая вода — керосин он больше, чем для пары вода — воздух. В среднем величина гистерезиса $\Delta \cos \theta = 0,5$. Разница в углах составляет около 30° .

Следовательно, порядок внесения жидкости имеет большое значение. Уголь, будучи погружен в воду, приобретает гидрофильные свойства, но если этот же уголь сначала погрузить в углеводородную жидкость, а затем испытать с водой, то он приобретает гидрофобные свойства. Таким образом, эти данные указывают, что в реальных условиях, т. е. при наличии гистерезиса, вода не вытесняется керосином.

Данные испытания углей Донецкого бассейна марок Ж и К показывают, что общее положение почти не меняется при замене системы вода — керосин, содержащей большое количество поверхностно активных веществ, системой вода — ксилол с их минимальным содержанием. Величина статического гистерезиса при этом значительно увеличивается, хотя для системы вода — воздух остается примерно постоянной.

В связи с наличием в объемных процессах статического гистерезиса, а также учитывая, что в промышленных условиях проведения смачивания образуются пленки органической жидкости, которые взаимодействуют с водой, были проведены опыты в условиях образования пленки углеводорода на поверхности угля. Образование пленок подтверждается малым количеством добавок (доли процента), которые оказывают столь существенное влияние.

Методика испытаний заключалась в следующем. На поверхность шлифа угля наносилась капля воды и определялись ее параметры. Затем в стороне наносилась капля углеводородной

жидкости, которая растекалась на поверхности угля во все стороны и через определенный промежуток времени достигала капли воды, после чего вновь определялись ее параметры (угол контакта, высота, ширина). Наклонением (при помощи микрометрического винта столика со шлифом) достигалось положение, при котором капля срывалась. Обычно это происходило при наклоне на 20—40°. Без углеводородной пленки силы адгезии вода — уголь удерживают каплю при повороте шлифа вокруг горизонтальной оси на 360°. Если на поверхность шлифа предварительно наносится углеводородная жидкость, а затем капля воды, то силы прилипания уголь — вода значительно слабеют, поэтому легко можно достичь состояния, при котором эти силы приближаются к нулю, когда капля воды приобретает легкую подвижность, подобную подвижности капли ртути на стекле.

Как отмечалось, теоретически возможны различные варианты механизма взаимодействия системы вода — углеводород на поверхности угля; в каждом из них принимается как необходимое условие образование углеводородной пленки, поэтому представляет большой интерес изучение явления образования этих пленок.

Согласно принципу минимума свободной энергии, самопроизвольные процессы могут протекать только при условии уменьшения свободной энергии системы. Свободную поверхностную энергию можно для данного явления отождествить с поверхностным натяжением. Тогда первый вариант возможности образования углеводородной пленки на поверхности воды сравнительно легко может быть теоретически установлен из следующего соотношения:

$$-\Delta F = -\sigma_{12} + \sigma_{10} + \sigma_{02}, \quad (7,IV)$$

где ΔF — изменение свободной энергии системы;

σ_{12} — поверхностное натяжение воды на границе с воздухом;

σ_{10} — поверхностное натяжение воды на границе с органической жидкостью;

σ_{02} — поверхностное натяжение органической жидкости на границе с воздухом.

Очевидно, самопроизвольное растекание углеводородной жидкости по поверхности воды будет наблюдаться только при условии неравенства

$$\sigma_{12} > \sigma_{10} + \sigma_{02}. \quad (8,IV)$$

Все эти три величины определяются сравнительно легко.

Таким образом, коэффициент растекания является достаточной характеристикой для установления образования поверхностных пленок.

Действительно, образование тонкой пленки керосина (ксилола, толуола, бензола) на поверхности воды легко наблюдается визуально. При хорошем боковом освещении можно видеть интерференционные полосы, причем процесс распространения пленки керосина на воде протекает довольно быстро. Интерференционные полосы свидетельствуют об образовании пленки толщиной порядка волны видимой части светового луча ($4 \div 8 \times 10^{-5}$ см).

Углеводородная пленка на угольном шлифе обуславливает изменение формы капли воды, которая вследствие неравенства сил поверхностных натяжений становится более плоской и срывается при наклоне угольного шлифа. Кроме того, при получении увеличенной проекции капли воды явно обнаруживается плавный переход пленки керосина с угольной поверхности на водную.

Все эти факты указывают на то, что процесс образования тонкой пленки керосина на водной поверхности не вызывает сомнения.

При отсутствии гистерезиса убыль свободной энергии для керосина больше, чем для воды, и процесс вытеснения мог бы иметь место; в действительности вследствие гистерезиса мы не наблюдаем этого.

Опыт применения метода смачивания на коксохимических заводах

Проводившиеся при внедрении данного метода испытания показали, что производительность коксохимических заводов, применявших смачивание угольной смеси маслами, значительно повышается [7, 10]. Результаты, полученные при этих испытаниях на некоторых коксохимических заводах (табл. 10), свидетельствуют об увеличении производительности коксохимических заводов при повышении насыпного веса угольных смесей путем добавки к ним небольших количеств некоторых органических жидкостей.

Эксплуатационные данные некоторых коксохимических заводов, характеризующие эффективность применения добавок органических жидкостей к угольной смеси для повышения ее насыпного веса, представлены в табл. 11.

Данные, приведенные в табл. 11, показывают, что повышение величины разовой загрузки камер угольной смесью для разных заводов (кроме коксохимического цеха Кузнецкого металлургического комбината) составляло в отдельные периоды от 3,8 до 5,6%.

Таблица 10

УВЕЛИЧЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ КОКСОХИМИЧЕСКИХ ЗАВОДОВ ПРИ
СМАЧИВАНИИ ШИХТЫ КЕРОСИНОМ И АНТРАЦЕНОВЫМ МАСЛОМ

Завод	Наименование и средний расход добавки органических жидкостей в процентах от веса угольной смеси	Увеличение производительности, %		
		по коксу	по газу	по сырому бензолу
Кемеровский коксохимический	Керосин 0,1	7,3	8,6	9,5
То же	Антраценовое масло 0,3	4,9	—	—
Нижне-Тагильский коксохимический	Керосин 0,1	6,6	5,2	9,0
Коксохимическое производство Магнитогорского металлургического комбината	Антраценовое масло 0,2	5,5	—	—

Таблица 11

УВЕЛИЧЕНИЕ ЗАГРУЗКИ КАМЕР ПРИ СМАЧИВАНИИ ШИХТЫ УГЛЕВОДОРОДНЫМИ
ЖИДКОСТЯМИ

Завод	Наименование и средний расход добавки органических жидкостей в процентах от веса угольной смеси	Увеличение разовой загрузки камер, %
Кемеровский коксохимический	Керосин 0,074	4,2
То же	Смесь каменноугольных масел 0,3—0,5	3,8
Нижне-Тагильский коксохимический	Керосин 0,1 и смеси масел	4,4
То же	Нейтральное масло 0,28	5,2
	» » 0,16	4,4
Коксохимическое производство Магнитогорского металлургического комбината	Антраценовое масло 0,16	4,1
То же	» » 0,21	5,6
Коксохимический цех Кузнецкого металлургического комбината	Смесь каменноугольных масел 0,12	1,8

Следует отметить, что, несмотря на крайнюю техническую простоту метода, для получения высокой и устойчивой эффективности его применения необходимо соблюдать элементарные

технические требования к процессу добавки углеводородных жидкостей и угольной смеси и их смешению друг с другом. К числу таких основных требований относятся:

1) строго дозированное количество добавляемых масел; так как рост насыпного веса от прибавления масел к угольной смеси имеет максимум при определенном проценте добавки, то отклонение от этого оптимума вызывает неполное увеличение насыпного веса;

2) достаточно тесное смешение добавляемого масла с угольной смесью;

3) постоянный контроль насыпного веса угольной смеси, так как дозировка масла должна изменяться в соответствии с изменениями влажности и помола углей.

Там, где эти требования соблюдались более тщательно, результаты были нормальные. В тех случаях, когда эти требования выполнялись не полностью, результаты работы были менее эффективными.

В коксовом цехе Кузнецкого металлургического комбината количество масла, подаваемого в угольную смесь, далеко не соответствовало оптимальному количеству, что не давало полной эффективности метода. Это и обусловило незначительное увеличение роста разовой загрузки (1,8%), ниже, чем на других коксохимических заводах.

Неполное использование эффективности метода на Кузнецком металлургическом комбинате вызывалось малоусадочностью перерабатываемой угольной смеси и неудовлетворительным состоянием кладки печей. Эти обстоятельства заставляли сознательно ограничивать повышение насыпного веса, чтобы не перейти опасных пределов расширяющего действия перерабатываемой угольной смеси.

Опыт применения добавок некоторых органических жидкостей к угольным смесям на различных коксохимических заводах с целью повышения насыпного веса и увеличения производительности показывает, что для осуществления этого мероприятия не требуется никаких серьезных переделок в оборудовании. Установка для смачивания маслами проста в изготовлении и эксплуатации и не приводит к дополнительным трудностям в подготовке угольной смеси к коксованию. Благодаря уменьшению коэффициента трения угольной смеси, происходящему вследствие ее обработки добавкой масел, упрощаются загрузка и планирование угольной смеси и облегчаются условия труда по загрузке коксовых печей. Повышение загрузки камер при увеличении насыпного веса угольной смеси путем добавки к ней масел нигде не вызвало необходимости увеличения периода коксования. Вместе с тем применение данного метода оказывает положительное влияние на качество кокса в направлении некоторого увеличения

его выхода, улучшения прочности и уменьшения трещиноватости.

Стремление к улучшению качества кокса в ряде случаев требует более тонкого помола угольной смеси, что приводит к уменьшению ее насыпного веса. Так как увеличение насыпного веса добавками масел весьма эффективно при тонком помоле угольной смеси, то применение этого метода для таких угольных смесей дает возможность сохранить высокую загрузку печей и значительно улучшить качество кокса.

Опыт показывает, что с увеличением влажности угольной смеси насыпной вес последней падает, достигая при определенной влажности минимального значения. Увеличение насыпного веса угольной смеси при добавках масел, наоборот, повышается с ростом ее влажности, достигая максимума примерно при влажности, соответствующей минимальным значениям насыпного веса угольной смеси. Из этого следует, что наибольшую эффективность от применения метода можно получить там, где влажность смесей лежит в пределах, отвечающих минимальным значениям насыпного веса угольной смеси без добавок масел.

В качестве добавки для повышения насыпного веса применяются различные масла нефтяного и каменноугольного происхождения: керосин, поглотительное масло, сольвент-нафта, антраценовое масло и т. д., а также их смеси [7, 10].

В связи с применением указанного метода на коксохимических заводах отмечалось, что введение масла в угольную смесь перед измельчением значительно повышает производительность дробильных устройств. Это объясняется понижением коэффициента трения угля, обработанного маслом, и, возможно, также эффектом понижения твердости угля вследствие расклинивающего действия масел.

Повышение насыпного веса угольной смеси путем обработки ее маслами может применяться для различных целей в зависимости от требования производства:

1. Если требуется поднять производительность коксохимического завода по всему технологическому циклу, то, используя добавку оптимального количества масла к угольной смеси, можно существенно увеличить величину разовой загрузки печей.

2. При постоянной производительности коксохимического завода, применяя добавку масел к угольной смеси и повышая тем самым величину разовой загрузки, можно несколько удлинить период оборота печей. При этом сократится количество выдаваемых печей в единицу времени и тем самым улучшится качество кокса, уменьшится износ механизмов и улучшатся условия труда.

3. Для получения кокса с постоянными физико-механическими свойствами в числе прочих условий необходимо соблюдать постоянство насыпного веса загружаемой в печи угольной смеси,

для чего необходимо применять к ней различные добавки масел.

Указанные выше цели могут быть легко достигнуты при условии, что насыпной вес при этом не превысит пределов, опасных в отношении давления расприания угольной смеси при коксовании.

Таким образом, обработка влажной угольной шихты керосином или каменноугольными маслами в количестве 0,10—0,30% от веса шихты приводит к уплотнению ее и к улучшению качества получаемого кокса. Эффективность применения каменноугольных масел несколько ниже, чем керосина.

Внедрение этого метода на коксохимических заводах протекало успешно в связи со значительным увеличением разовой загрузки камер (до 7%), а также и потому, что применение его не связано с усложнением работы углеподготовительных и коксовых цехов и не вызывает необходимости в изменении технологических схем.

За время применения обработки шихты маслами отмечено заметное улучшение качества кокса. Это дало возможность вводить в шихту коксового цеха Кузнецкого металлургического комбината ленинские газовые угли.

Применение метода смачивания в полном объеме позволит существенно увеличить долю газовых углей в шихтах наших коксохимических заводов.

А. С. Брук и др. [16] изучали влияние насыпного веса шихты, содержащей 40% газовых углей, на механические свойства кокса. С увеличением насыпного веса для такой шихты имело место как увеличение структурной прочности, так и крупности кокса. Отсюда авторы делают правильный вывод о целесообразности проведения промышленных опытов по коксованию шихт с большим количеством газовых углей с одновременным увеличением насыпного веса этих шихт при помощи микродобавок керосина.

Одновременно с этим применение метода смачивания дает существенное повышение производительности коксохимических заводов по всему технологическому циклу. Теоретические соображения, опыты промышленного масштаба и результаты длительного применения данного метода на коксохимических заводах показывают, что смачивание угольной шихты микродобавками масел не вызывает удлинения периода коксования.

На заводах, перерабатывающих угольную шихту с добавками керосина или масел, облегчаются условия труда на коксовых печах, упрощаются операции загрузки шихты и разравнивания ее в камере коксования.

Применяя смачивание шихты углеводородными жидкостями, следует учитывать, что увеличение насыпного веса, как правило, влечет за собой повышение давления вспучивания в процессе коксования и снижение усадки коксового пирога.

Наиболее просто величина насыпного веса шихты поддерживается на постоянном уровне путем смачивания ее тем или иным количеством масла. Это обстоятельство позволяет повысить равномерность качества получаемого кокса.

В последнее время для смачивания шихты по этому методу на коксохимических заводах СССР начинают использовать мазут. Это позволяет наряду с улучшением качества кокса существенно увеличить выход химических продуктов коксования.

При добавлении 1,5—4,0% мазута к венгерским каменным углям также было констатировано повышение механической прочности кокса с одновременным увеличением выхода углеводородов [182]. Эти опыты были проведены в заводском масштабе в вертикальных камерных печах непрерывного действия.

Как указывает М. Энгсхубер [166]: «...метод Агроскина с учетом специфики условий Германской Демократической Республики может принести большую пользу народному хозяйству ГДР».

На протяжении ряда лет Е. Бюрстлейн [156—159] применяет этот метод в сочетании с другими приемами для расширения ассортимента углей, используемых для коксования.

На одном из французских коксохимических заводов путем добавления 0,4—0,5% тяжелого масла удалось ввести в шихту 60% малометаморфизованных углей, в то время как при предварительном трамбовании содержание их удавалось доводить лишь до 53% [162]. Средний насыпной вес загрузки до внедрения этого метода составлял 743 кг/м³; после смачивания он повысился до 808—819 кг/м³. Механическая прочность кокса, определяемая по барабану «Микум», увеличивается параллельно повышению насыпного веса шихты.

Добавление в шихту извести

Теоретические соображения

Микрокапельки воды, находящиеся на поверхности угольных зерен, затрудняют скольжение частиц угля, чем способствуют разрыхлению угля, т. е. понижают его насыпной вес. Перемещение воды с гидрофобной поверхности угля на поверхность гидрофильной добавки может осуществляться двояко: путем непосредственного контакта или путем испарения капель с поверхности угольных зерен и конденсации паров на гидрофильных частицах. Такое перемещение обуславливается разностью упругостей паров воды, находящихся на гидрофобной и гидрофильной поверхностях.

Упругость паров воды над угольной частицей p_1 значительно больше упругости водяного пара над гидрофильной частицей p_2 : $p_1 \gg p_2$, соответственно чему и работа изотермической конденсации пара $A_{12} > 0$.

Этот процесс протекает изотермически и может быть рассчитан по уравнению

$$RT \ln \frac{p_1}{p_2} = A_{12} > 0. \quad (9,IV)$$

Одновременно с этим нужно учитывать кривизну поверхности. Согласно первому закону капиллярности Лапласа, на искривленных поверхностях жидкости имеется избыточное давление, зависящее от ее поверхностного натяжения и кривизны поверхности. Нетрудно доказать, что давление паров над поверхностью с большей кривизной больше. С этой точки зрения увеличение степени дисперсности частиц гидрофильной добавки уменьшает эффект перетягивания влаги. Однако надо полагать, что улучшенное смещение угля с добавкой при более тонком ее помоле с избытком компенсирует влияние этого фактора.

При выборе твердых добавок для «химического обезвоживания» шихты естественно было остановиться на окиси кальция, которая наряду с гидрофильными свойствами одновременно химически связывает значительные количества воды. Кроме того, тепло гашения извести также способствует частичному удалению влаги. Помимо этого, окись кальция обладает смазывающей способностью, улучшающей соскальзывание угольных частиц и, следовательно, приводящей к повышению плотности их упаковки.

Опыты определения насыпного веса абсолютно сухого угля показали, что добавки окиси кальция в этих условиях не дают смазывающего эффекта, так как не вызывают уплотнения угля.

Представляется достаточно трудным теоретический подсчет количества влаги, снимаемой с угольной поверхности вследствие гидрофильности CaO , однако роль прочих факторов (поглощение воды при гашении извести, тепло реакции гашения, дальнейшее поглощение влаги с образованием моногидрата $\text{Ca}(\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) может быть подсчитано теоретически.

Как же влияет добавка небольших количеств окиси кальция в угольную смесь на поведение кокса в доменной печи?

В процессе коксования окись кальция частично реагирует с серой угля, образуя сернистый кальций, при этом окись кальция связывает, как часть летучей, так и органической серы, остающейся при обычных условиях в коксе. За счет связанной летучей серы общее содержание серы в коксе несколько повышается. Однако эта сера в форме соединения с кальцием для дальнейших процессов является обезвреженной.

8 А. А. Агроскин, А. К. Шелков

При доменной плавке оставшаяся в коксе окись кальция заменяет эквивалентное количество добавляемых в доменную печь флюсов и вследствие большой дисперсности может лучше связывать некоторое количество освобождаемой при доменной плавке серы. Часть серы реагирует с железом и образует сернистое железо, которое довольно хорошо растворяется в расплавленном чугуне.

В противоположность сернистому железу сернистый кальций не растворяется в чугунах, переходит в шлак и до определенного предела способствует обезвреживанию некоторых количеств серы в доменной плавке.

Проведенные рядом авторов исследования позволяют считать, что коксование с добавками извести оказывает незначительное влияние на выходы и качество получаемых продуктов; влияние это не считается вредным.

Известь может явиться хорошей отощающей добавкой при использовании для коксования малометаморфизованных газовых углей, одновременно с этим она способствует уменьшению усадки и трещиноватости коксового пирога.

Лабораторные исследования [7.]

Лабораторные эксперименты по обработке окисью кальция проводили на угольной шихте Кемеровского коксохимического завода. В соответствии с вышеприведенными теоретическими соображениями уже первые опыты показали, что прибавление небольших количеств CaO к угольной смеси существенным образом увеличивает ее насыпной вес. Введение в уголь 1% CaO увеличивает его насыпной вес на 8,1%, а при добавлении 5% CaO насыпной вес увеличивается на 13,6%. Результаты обработки шихты гашеной известью свидетельствуют о том, что гидрофобные порошки значительно увеличивают насыпной вес угля, даже если они не оказывают водоотнимающего действия. Таким образом, если известь, используемая в промышленных условиях для обработки угля, несколько гидратируется, это не окажет заметного влияния на эффект увеличения насыпного веса угля.

Для получения максимально возможного увеличения насыпного веса представляется важным определить эффект совместной обработки угля окисью кальция и углеводородными жидкостями. Приведенные в табл. 12 данные показывают, что эффект обработки угля известью и смесью извести с керосином почти аддитивно складывается и достигает в данном случае 18,3%. Полученные результаты свидетельствуют о желательности проведения детального изучения обработки угля окисью кальция и органическими жидкостями.

Таблица 12

ВЛИЯНИЕ ДОБАВОК ИЗВЕСТИ И МАСЕЛ

Влага шихты %	Добавка извести %	Известь негашеная		Известь негашеная + 0,2% смеси керосина и антраценового масла (1 : 3)	
		насыпной вес		насыпной вес	
		г/дм ³	увеличение %	г/дм ³	увеличение, %
5,05	0,0	590	—	590	—
	1,0	645	9,1	685	16,9
	2,0	667	13,0	698	18,3

На основании экспериментов установлено, что результирующее увеличение насыпного веса не зависит от того, вводится ли в смесь раньше твердый или жидкий реагент. Так, например, смесь, смоченная 0,1% керосина, перемешанная в течение двух минут, затем обработанная 2% CaO и перемешанная еще две минуты, увеличила насыпной вес на 17,2%. Та же смесь, обработанная в равных условиях сначала известью, а потом керосином, показала увеличение насыпного веса также на 17,2%.

Эти данные позволяют варьировать последовательность добавки твердого и жидкого реагента как в лабораторных, так и в промышленных условиях.

Таблица 13

ВЛИЯНИЕ ДОБАВКИ ИЗВЕСТИ И АНТРАЦЕНОВОГО
МАСЛА

(влажность угля 4,9%)

Добавка, %		— Насыпной вес	
антраценового масла	извести	г/дм ³	увеличение %
0,0	0,0	639	—
0,2	0,0	671	5,0
0,3	0,5	680	6,4
0,3	1,0	701	9,7

Результаты смачивания смеси 0,3% антраценового масла — количеством, обычно применяемым в промышленных условиях, и обработки различным количеством извести приводятся в табл. 13. Совместная обработка угля антраценовым маслом и 1% окиси кальция позволяет почти удвоить эффект увеличения насыпного веса с 5 до 9,7%.

Чтобы определить, влияет ли обработка известью на величину оптимальной добавки масла, были поставлены две серии опытов с переменными количествами керосина и антраценового масла.

Эти опыты показали, что в первом случае добавление извести незначительно увеличивает оптимальное количество керосина — с 0,12 до 0,15%, а оптимальное количество антраценового масла с добавкой извести не изменяется, составляя 0,6%. Совместная обработка оптимальным количеством керосина и 2% извести повышает насыпной вес угля на 17,2%. Увеличение насыпного веса при обработке 2% извести и 0,6% антраценового масла составляет 13,9%.

Весьма существенно выяснить роль гранулометрического состава извести. Исследование этого вопроса, проведенное с известью грануляции >3 ; 1,5—3; 0,5—1,5 и $<0,5$ мм, показывают резкую зависимость эффекта повышения насыпного веса от степени измельчения СаО. Эта зависимость сказывается в равной степени как при обработке угля только известью, так и при совместной обработке известью с керосином. Полученные результаты позволяют рекомендовать применение извести, дробленой до 1,5 мм, при обработке угля в промышленных условиях.

Характерно отметить, что известь, столь значительно повышающая плотность упаковки угольных частиц, сама по себе обладает низким насыпным весом (в данных условиях от 452 до 548 кг/м³, или на 20—50% ниже насыпного веса угля).

Опыты в заводских условиях

В коксовом цехе Магнитогорского металлургического комбината были проведены опытные печные коксования угольной смеси с добавкой извести [100]. При предварительных лабораторных определениях было найдено, что смачивание антраценовым маслом увеличивает насыпной вес на 4, а добавка извести на 15%. Суммарный эффект смачивания и добавки извести составляет 18%. Из этих 18% следует исключить вес самой извести, составляющей по пересчету 8% от веса угля. Таким образом, в лабораторных условиях установлен суммарный эффект от увеличения насыпного веса шихты в 10%, в том числе, %:

Путем смачивания угля	4
Путем добавки извести	6

Подготовка опытной угольной смеси проводилась на втором блоке углеподготовительного отделения, где один из бункеров углеприемных ям и один из силосов были тщательно очищены от угля.

Ситовый состав извести в силосе характеризуется содержанием 57,2% класса ниже 3 см. Содержание активной окиси кальция в извести составило 71,4%.

Опыт работы с известью показал, что для предотвращения происходящего при этом значительного пыления необходимы специальные меры по герметизации выгрузки и смешения извести с углем.

Были проведены три опыта коксования с добавкой извести. Угольная смесь во всех трех опытах была одного и того же состава, %:

Осиновские угли	35
Угли К ₂	25
Угли К ₂ шахты 3/3 бис	10
Карагандинские необогащенные шахт 1—2	15
Концентрат Карагандинской ЦОФ	15

100

При проведении первого опыта попытки ввести в угольную смесь 1—2% извести оказались неудачными. При проведении второго опыта удалось регулированием вручную добавить в шихту 1,5—2% извести. Третий опыт был проведен наиболее полно и тщательно, так как были учтены недочеты первых двух опытов.

Удалось точно и равномерно (что крайне важно) сдозировать 1,5% извести. Угольная шихта содержала 10,0% класса >3 мм. В отдельную секцию угольной башни было подано 600 т опытной смеси. Опытной смесью было загружено 12 печей, столько же печей загрузили производственной смесью.

Эффект увеличения насыпного веса угольной смеси фактической зольности от добавки извести составил 5,82%, а в пересчете на зольность производственной смеси — 4%.

Опытный кокс имел вполне удовлетворительный вид, но на поверхности кусков были видны вкрапления извести.

Качество кокса было следующее:

Содержание влаги, %	2,56
Зольность, %	14,3
Выход летучих, %	0,92
Остаток в барабане Сундгрена, кг	302
Содержание фракции 0—10 мм в подбаранном продукте, кг	41

Таким образом, последним опытом была установлена возможность получить повышенную загрузку угля в камеру коксования путем добавки 1,5% извести, сохранив при этом механическую прочность кокса. При добавке извести зольность кокса неизбежно повышалась.

Большим недостатком при проведении описанных опытов следует считать плохое дробление извести. Дробить известь надо, по-видимому, на бегунках, доводя ее до высокой степени дисперсности. Только такое измельчение извести и самое тщательное ее смешение с угольной смесью может привести к повсеместному перетягиванию влаги с гидрофобной поверхности угольных зерен на гидрофильную поверхность мельчайших частиц извести.

Проведенные опыты недостаточны для окончательных выводов, но они дают представление об эффективности данного метода и одновременно о тех затруднениях в производственном масштабе, которые возникают при добавке извести к угольной шихте.

Высокая проницаемость известковой пыли через неплотности ухудшала условия труда.

В настоящее время опыты по добавлению СаО в шихту проводятся Е. Бюрстлейном на опытной установке в Тионвиле. Известь вводится в барабанный грохот, который является хорошим смесителем. Одновременное добавление в шихту 5% извести и 0,2% масла позволило повысить насыпной вес ее на 12%.

Опытные коксования показали, что известь, добавленная в количестве от 2 до 5%, является хорошей отошающей добавкой, качество которой, по меньшей мере, равно коксовой пыли; известь легко измельчается до класса $< 0,2$ мм. Введение тонкоизмельченной извести отнюдь не приведет к увеличению содержания мелких классов в шихте, поскольку одновременно можно отрегулировать дробилки на работу с меньшим выходом угольной мелочи.

Согласно результатам тех же опытов, значительная часть серы угля связывается известью в СаS. Так, например, при добавке в шихту 2,5% СаО содержание сероводорода в газе понижается с 5,85 до 3,56 г/м³. Это существенно улучшает качество коксового газа, особенно с точки зрения его использования в мартеновских печах.

Дополнительная сера, остающаяся в коксе, связывается в виде устойчивого при температурах доменной печи соединения — сернистого кальция и, по-видимому, должна целиком переходить в шлак. Кроме того, можно полагать, что остальная часть серы кокса во время сгорания его в области фурм будет связываться тонкодиспергированной окисью кальция и также легко ошлаковываться. Если эти предположения оправдаются, будут созданы новые возможности получения малосернистого чугуна.

Таким образом, обработка угля известью в количестве 1—2% увеличивает ее насыпной вес на 8—12%. Добавление извести представляет своеобразный процесс сушки угольной шихты, который может иметь значительно большую перспективу развития, чем термическая сушка.

Частичное гашение извести не влияет заметно на рост насыпного веса угля. Влияние обработки известью повышается с увеличением степени ее дробления.

Совместная обработка микродобавками масел и известью позволяет увеличить ее насыпной вес на 14—18%. Хорошие показатели в этом отношении дает обработка угля гидрофильными коллоидами типа крахмала и смесями их с углеводородными жидкостями.

Опытные печные коксования показали значительную эффективность обработки угольной смеси известью. Желательно продолжать заводские исследования при более тонком измельчении извести. Особое внимание должно быть обращено на герметизацию отдельных агрегатов углеподготовки.

Вводимая в угольную смесь известь благодаря большой дисперсности заменяет в процессе доменной плавки некоторое количество флюсов. Промышленное коксование с добавками извести, во всяком случае, не ухудшит выходов и качества химических продуктов коксования.

4. ДРОБЛЕНИЕ УГЛЕЙ

Ситовый и петрографический состав углей

На коксохимических заводах ситовый состав шихты обычно характеризуют только общим содержанием класса 0—3 мм и лишь в последнее время, в связи с переходом на тонкое измельчение шихты, стали учитывать содержание класса 0—0,5 мм, от которого зависит пылевыведение шихты при ее транспортировке.

Между тем в зависимости от условий подготовки угольной шихты: схемы углеподготовки, типа дробильных устройств и т. д. имеется возможность при настоящем уровне измельчения шихты до класса 0—3 мм регулировать ее ситовый состав, в частности повысить содержание классов 2—3; 1—2 и 0,5—1 мм и уменьшить количество класса 0—0,5 мм. В этом случае увеличивается насыпной вес угля и понижается способность шихты к выделению пыли.

«Тонкость помола» шихты представляет весьма условное понятие. Если, скажем, 90% угля проходит через сито 3 мм, то это не дает никакого представления о распределении угля по классам различной крупности. Для более точной характеристики ситового состава угольной шихты Е. Бюрстлейн [158] вводит понятие «гранулометрического индекса», определяемого по уравнению

$$G = d \frac{c/e}{b/f} a/h, \quad (10,IV)$$

где a, b, c, d, e, f, h — размеры сит, через которые проходит соответственно 0, 5, 25, 50, 75, 95 и 100% от угля. В этом уравнении:

- d — средняя величина зерен;
- a/h — суммарный разброс гранулометрического состава;
- c/e — средний ситовый разброс, включающий 50% угля;
- b/f — квазиполный ситовый разброс, охватывающий 90% всех зерен.

На рис. 22 представлен ряд типичных кривых ($I-V$) ситового состава угля класса 0—5 мм, а на рис. 23 построены (по данным рис. 22) кривые распределения угля по классам крупности.

Из рис. 23 видно, что для одного и того же класса (в данном примере 0—5 мм) средняя величина зерна может колебаться в очень значительных пределах — от 0,65 до 4,35 мм; отношение c/e (средний ситовый разброс) также колеблется от 0,5/4,5 до 2,1/2,9.

Для определения гранулометрического индекса нет необходимости в построении вышеприведенных кривых, достаточно лишь знать ситовый состав угля. Например, кривая I на рис. 22 построена для угля следующего ситового состава:

Сито, мм	Проходит, %	Сито, мм	Проходит, %
0,1	14,3	1,6	76,2
0,16	19,3	2	82,3
0,2	25,1	3	92,8
0,3	44,2	4	98,2
1,0	62,5	5	100,0

В таком виде результаты ситового анализа очень трудно усваиваются. Гранулометрический индекс может быть найден путем интерполяции вышеприведенных данных. Среднее зерно $d = 0,66$ мм; суммарный разброс $a/h = 0/5$; средний разброс $c/e = 0,2/1,5$. Разброс квазиполный $b/f = 0,03/3,3$. Отсюда

$$G = 0,66 \frac{0,2/1,5}{0,03/3,3} \cdot 0/5.$$

Факторы, обуславливающие неоднородность шихты

Кокс обычно характеризуется значительной неоднородностью, поскольку исходная шихта для коксования неоднородна по ситовому составу. Особенно тонкому измельчению должны быть подвергнуты минеральные примеси угля, поскольку они являются инертными добавками к угольной шихте. Принцип гомогенности не соблюдается в обычных методах подготовки шихты, так как не учитывается разница в исходном ситовом составе от-

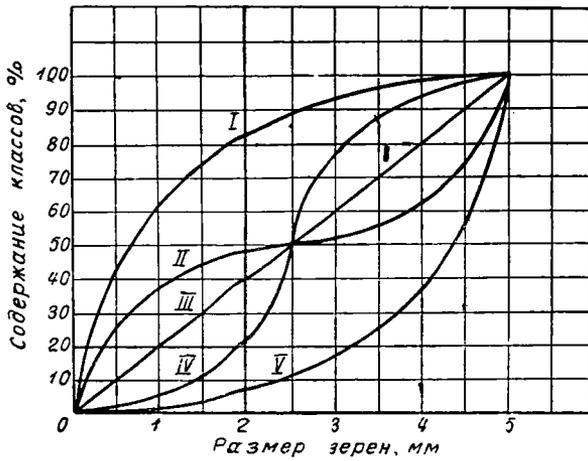


Рис. 22. Типичные кривые ситового состава шихты

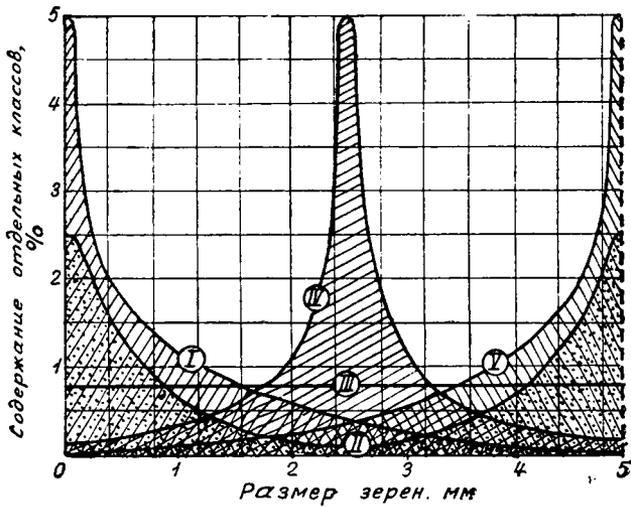


Рис. 23. Типичные кривые распределения угля по классам крупности

дельных компонентов шихты, разница в прочности этих углей, а также разница в механической прочности различных петрографических составляющих отдельных углей. Особенно несовершенно обычный способ подготовки шихты с точки зрения осуществления тонкого помола инертных примесей, поскольку обычно инертные примеси обладают большей механической прочностью, чем уголь. Хорошо известно, что при измельчении в одной и той же дробилке смеси более прочных и менее прочных веществ происходит переизмельчение более хрупких компонентов и недостаточное измельчение более прочных компонентов.

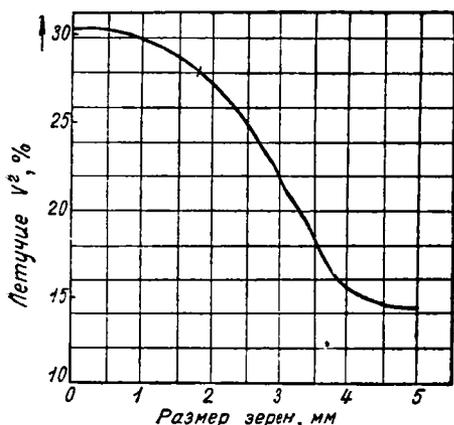


Рис. 24. Выход летучих веществ из зерен шихты различной крупности

Для наглядности приведем пример обычного метода подготовки шихты, состоящей на 85% из газового угля с выходом летучих 31% и 15% тощего угля с выходом летучих 15%. Эта шихта дает весьма неоднородный по структуре кокс; что, в частности, хорошо иллюстрируется кривой на рис. 24, представляющей зависимость вы-

хода летучих веществ от крупности зерен шихты. Среднему выходу летучих 28,29% соответствует содержание фракции 0—1 мм 30,2% и фракции 4—5 мм 15%. Таким образом, первая фракция содержит 94% газового угля и только 6% тощего угля, а вторая состоит целиком из тощего угля. Тощий неспекающийся уголь, благодаря своей большей прочности, сконцентрирован в крупных фракциях, в то время, как вследствие своей инертности он должен быть наиболее полно измельчен.

На основе ознакомления с ситовым составом шихты ряда коксовых установок Бюрстлейн [158] констатирует значительное непостоянство его. Средняя величина зерна колеблется от 1,3 до 6,2 мм, средний разброс в 50% колеблется от 0,5/3,1 до 2,5/13,5 мм.

При обычных методах дробления распределение классов по крупности в исходном угле воспроизводится в продукте дробления, хотя, естественно, при других размерах зерен. Этот «феномен наследственности» приводит к тому, что при совместном пропуске через дробилку двух углей равной прочности, но с разным исходным ситовым составом получается продукт со значительной сегрегацией в крупных фракциях угля, имеющего бо-

льшой прочностью, сконцентрирован в крупных фракциях, в то время, как вследствие своей инертности он должен быть наиболее полно измельчен.

лее крупный исходный помол, и в мелких фракциях угля с меньшим исходным гранулометрическим индексом.

Пр и м е р. Два угля, обладающие примерно равной механической прочностью перед шихтовкой в отношении 1 : 1, подвергаются разделению в дробилке Карра. Гранулометрический индекс угля I перед дроблением:

$$G_1 = 2,8 \frac{1/5,5}{0,1/9} 0/10,8;$$

то же, угля II

$$G_2 = 1,8 \frac{0,7/3,5}{0,1/5,3} 0/8.$$

Гранулометрический индекс тех же углей после отдельного дробления:

$$G'_1 = 1,0 \frac{0,3/2,4}{0,05/4,4} 0/6;$$

$$G'_2 = 0,6 \frac{0,15/1,6}{0,23/3,6} 0/4,6.$$

Гранулометрический индекс смеси (1 : 1):

$$G'_3 = 0,8 \frac{0 \ 2/2}{0,03/4,4} 0/6.$$

При рассмотрении зависимости выхода летучей смеси от ее ситового состава можно заметить, что уголь I отнюдь не распределяется равномерно по всем классам смеси; он присутствует в количестве 35% в мелких фракциях, а содержание его в крупных фракциях доходит до 100%. Таким образом, смесь неоднородна во всех своих фракциях по крупности.

Общеизвестно, что механическая прочность углей резко меняется с изменением степени их метаморфизма. В связи с этим в дополнение к вышеописанному фактору, обуславливающему сегрегацию отдельных компонентов угольной шихты, следует добавить их различную прочность.

Помимо этого, сегрегация угольной шихты вызывается еще и различной механической прочностью петрографических ингредиентов угля. Поскольку фюзен является инертным ингредиентом и обладает малой механической прочностью, концентрация фюзена в мелких фракциях шихты с точки зрения технологии коксования является полезным фактором. Поскольку фюзен характеризуется пониженным выходом летучих, он представляет собой хорошо отошающую добавку при коксовании шихт с высоким выходом летучих. Значительно менее удачные результаты дают обычные схемы подготовки угля в смысле дробления дюрена. Поскольку дюрен примерно в десять раз тверже, чем

витрен, он концентрируется преимущественно в крупных фракциях угольной шихты. В то же время, учитывая относительную инертность дюрена в процессе коксования, его следовало, наоборот, измельчать и вводить в мелкие фракции шихты. Сказанное в равной степени относится и к определенной категории частиц породы, которые вследствие своей твердости переходят в крупные фракции, в то время как инертный характер породы требует ее особо тонкого измельчения.

Таким образом, три фактора обуславливают неоднородность и сегрегацию угольной шихты: исходный ситовый состав углей; механическая прочность углей; механическая прочность отдельных петрографических составляющих.

В связи со сказанным разработаны различные методы подготовки угля для коксования. В одних случаях предусматривается так называемое петрографическое обогащение (освобождение угля от крупных зерен дюрена); в других — дифференциальный помол шихты (тонкое измельчение дюреных углей). За последнее время популяризуются различные схемы избирательного дробления угля.

Содержание зерен малозольного дюрена в шихтах восточных коксохимических заводов составляет не менее 30—35%. Добавка малозольных дюренов в качестве отошающего компонента к жирному углю во всех случаях приводила к улучшению качества кокса. Дюрены не являются инертными неспекающимися компонентами, обладающими одинаковыми свойствами. По-видимому, все дюрены в пределах средних стадий метаморфизма обеспечивают получение кокса повышенного качества по сравнению с дюренами иных стадий метаморфизма. О свойствах дюренов и о возможном их поведении в процессе коксования можно судить по характеристике однородного витренизированного вещества, заключенного в них.

Количество принимаемой жирным углем присадки дюренов зависит от степени метаморфизма последних: чем более метаморфизованы дюрены, тем меньшую присадку их принимает жирный витреновый уголь.

Отмечено, что при измельчении до 1 мм из дюрена выдрабливаются ингредиенты групп витрена и фюзена; одновременно изменяется петрографический состав собственно дюренов в сторону уменьшения содержания в них витренизированного вещества. Додрабливание дюренов до 0,5 мм в этом отношении большого эффекта не дает.

По данным В. Г. Зашквара и Б. И. Кустова (фонд научных работ УХИН, 1951), при однократном дроблении донецких газовых углей в дезинтеграторе в крупных классах сосредотачиваются фракции, имеющие наибольший выход летучих веществ, т. е. содержащие преимущественно дюрены.

Результаты детальных ситовых анализов шихты, выполненных под руководством С. Г. Аронова на некоторых коксохимических заводах, показывают, что в крупные классы шихты переходят главным образом труднодробимые газовые угли. Это в конечном счете приводит к разусреднению шихты и, следовательно, к неоднородности качества кокса. На этом основании С. Г. Аронов делает вывод о целесообразности выделения крупных классов (выше 3 мм) из шихты для их отдельного додробливания и возвращения в шихту (что приведет к улучшению качества кокса).

Однако осуществление такой схемы потребовало бы установки дорогого и громоздкого оборудования. Целесообразнее осуществлять раздельное дробление донецких газовых углей с избирательным дроблением их.

По данным С. Г. Аронова и В. А. Кулясова [2] при измельчении шихты до одинаковой степени помола по общему выходу классов ниже 2 мм в дезинтеграторах выход классов менее 0,5 мм составляет 32—34%, а в молотковых дробилках — 61%; средняя крупность зерен дробленой шихты в дезинтеграторах достигает 1,38 мм, а в молотковых дробилках всего 1,08 мм и менее.

В. Г. Зашквара и др. [42] установили, что при измельчении шихты в молотковых дробилках до 92—93% классов 0—3 мм средняя крупность зерен угля составляет менее 1 мм. Близки к этим показатели средней крупности шихт, получаемых из кузнецких и карагандинских углей на заводах Востока.

Небольшая крупность зерен дробленого угля, получаемая в настоящее время на коксохимических заводах, является следствием принятого режима работы молотковых дробилок, в которых преобладает не дробящее, а истирающее действие.

В результате применения на заводах шихты с большим количеством класса ниже 0,5 мм заметно снижается ее насыпной вес и разовая загрузка коксовых печей: с увеличением содержания классов ниже 3 мм от 80 до 90% разовая загрузка печей уменьшается на 2—3%, а при 95—99% класса 0—3 мм — еще на 3,5—4,0%.

Многочисленные работы показали целесообразность тонкого измельчения необогащенных и петрографически неоднородных кузнецких и карагандинских углей. Однако прямой перенос этих нормативов помола шихты и условий работы дробилок на заводы Юга, где коксуются петрографически более однородные и почти целиком обогащенные угли, нельзя считать обоснованным.

В последнее время С. Г. Аронов и Л. П. Светлоусова [4] убедительно показали отрицательное влияние тонких классов зерен углей в шихте на процессы спекания и коксообразования, а следовательно, и на качество кокса. Они считают, что переходящие

в пластическое состояние угли (типа донецких жирных и коксовых) целесообразно дробить до размера зерен не ниже 2—1 мм, а возможно даже 5—3 мм. Угли типа донецких ОС6 и Г6 также не следует дробить тонко.

На основе этого представления следует пересмотреть существующие схемы дробления и подготовки углей к коксованию с целью устранения переизмельчения и резкого снижения содержания в шихте класса <0,5 мм. Целесообразно разработать и ввести норматив предельного содержания в шихте класса <0,5 мм, наряду с принятым в настоящее время нормативом содержания класса >3 мм.

Необходимо разработать такой режим дробления и измельчения шихты в молотковых дробилках, при котором не получалось бы чрезмерно большого количества угольной пыли, но сохранялся относительно высокий уровень общего содержания фракций ниже 3 мм.

Увеличение степени дробления в молотковых дробилках достигается повышением окружной скорости молотков, изменением их формы, величины зазоров между колосниками, а также между молотками и колосниковой решеткой. Поэтому при изменении некоторых условий работы молотковой дробилки можно увеличить дробление ударом и уменьшить истирание.

Н. С. Грязнов, И. М. Лазовский и М. Г. Фельдбрин [25], основываясь на теории процесса коксования, показали, что повышение степени измельчения противоречиво сказывается на прочности металлургического кокса. С одной стороны, оно приводит к снижению структурной прочности кускового кокса, но, с другой, вызывает снижение трещиноватости, что упрочняет металлургический кокс. Из двух указанных факторов каждый преобладает при определенных условиях.

При переходе к более тонкому измельчению вначале вследствие уничтожения крупных зерен резко уменьшается трещиноватость кокса. Однако при дальнейшем увеличении содержания мелких классов снижается спекание и насыпной вес загрузки, что ослабляет структурную прочность кокса.

Для понимания связи между степенью измельчения угля и прочностью кокса следует учесть так называемый «эффект самоотощения», экспериментально установленный Е. М. Тайцем [102] и исследованный Л. М. Сапожниковым [91]. Этот эффект заключается в существенном увеличении вязкости пластической массы углей при их измельчении, зависящем от типа (марки) данного угля, его петрографического состава и содержания в нем золы. По указанной причине при чрезмерном измельчении угля и высоком содержании в нем пыли прочность кокса снижается. Сказанное находится в соответствии с результатами опытных и промышленных коксований.

Исследованиями В. Г. Зашквары и др. [42] было установлено, что увеличение тонкости измельчения типовых шихт из донецких углей с 80 до 90% содержания класса ниже 3 мм приводит к повышению прочности кокса. Дальнейшее увеличение тонкости измельчения шихты, как правило, не улучшает физико-механических свойств кокса.

Этот вывод согласуется с результатами опытных коксований. По данным ВУХИНа [54], для большинства угольных шихт восточных районов оптимальное измельчение соответствует 90—92% содержания класса 3—0 мм, а для жирных и газовых углей соответствует классу 2—0 мм.

Таким образом, рациональная схема дробления углей перед коксованием должна обеспечить максимальное снижение верхнего предела крупности угля для уменьшения трещиноватости и наименьшее образование мелких классов, чтобы не допускать значительного снижения структурной прочности кокса.

Применение дробилок ударного действия позволяет резко улучшить ситовый состав шихты. Опыты показывают, что измельчение мелочи малометаморфизованных углей в ударных дробилках значительно повышает качество получаемого кокса. Измельчение в ударной дробилке полностью исключает промежуточный рассев.

Рационализация процесса подготовки угля дробления может быть частично решена улучшением конструкции молотковых дробилок (обеспечение чистого удара и быстрого удаления измельченного угля). Однако радикальное решение вопроса заключается в предварительном отделении угольной мелочи и ступенчатом измельчении крупных классов.

Идея этого метода разрабатывалась в СССР [125, 123]. Такой же метод был применен Бюрстлейном [156—159] во Франции, где теперь созданы промышленные установки.

Для угольных шихт, дающих прочный кокс при обычном дроблении, применение избирательного дробления способствует уменьшению содержания мелких классов, что при сохранении верхнего предела измельчения позволяет существенно повысить насыпной вес шихты.

Избирательное дробление

Метод Совако [133, 156—159] впервые был внедрен французским инженером Бюрстлейном на коксохимической установке металлургического завода Тионвиль (Лотарингия). Шихта для коксования на этом заводе в течение длительного времени состояла из 20% местных лотарингских (газовые угли с выходом летучих 35—45%) и 80% импортных рурских углей. После внедрения данного метода завод в Тионвиле начал работать на ших-

те, состоящей из 65% местных лотарингских углей и всего 35% рурских при одновременном улучшении качества кокса.

Сущность метода Совако состоит в применении перед коксованием избирательного дробления углей по их петрографическим признакам. Готовая шихта с влажностью до 10% подается в смеситель, где смачивается минеральным маслом в количестве 0,15—0,20%. Это создает условия для четкого отсева шихты на специальных грохотах, сита которых обогриваются пропусканием электрического тока. Надрешетный продукт класса 4—10 мм дробится в дезинтеграторах до 4 мм; класс 2—4 мм с нижнего сита подвергается пневматическому обогащению, и получаемый дюреновый концентрат измельчается в дробилке до 1 мм. Подрешетный продукт 0—2 мм, представляющий собой смесь витрена, кларена и фюзена, смешивается с раздробленным до 1 мм дюреновым концентратом во втором смесителе, после которого получается готовая шихта.

Метод этот был также успешно внедрен на коксохимическом заводе в Гельзенкирхене (Западная Германия). В настоящее время проектируются и строятся еще несколько установок по методу Совако на коксохимических заводах Франции, Бельгии и в Алжире.

В промышленном масштабе процесс этот осуществлен на нескольких установках во Франции, а также в Италии, Англии, Австралии, Алжире и ФРГ. В 1960 г. по способу Совако производилось более 10 000 т кокса в сутки.

Основные особенности рассматриваемого процесса:

1. Однородность структуры получаемого кокса, в результате чего существенно улучшаются механические качества кокса как по трещиноватости, так и со стороны уменьшения истираемости. Выход металлургического кокса в процентах от валового увеличивается. Расширяется гамма углей, используемых для коксования; процесс этот позволяет использовать угли с выходом летучих от 18 до 32% вместо 22—27% при обычных методах подготовки углей к коксованию.

2. Регулируемость и постоянство качества кокса во времени. Это приводит к повышению производительности доменных печей, снижению удельного расхода кокса и улучшению качества чугуна.

3. Повышение производительности коксовых печей. Улучшение ситового состава шихты приводит к повышению ее насыпного веса и увеличивает разовую загрузку камер коксовых печей.

Устранение факторов сегрегации

Шихта для коксования целиком составлена из хорошо коксующихся углей. В этом случае необходимо лишь соблюдение

«контролируемого и прогрессивного дробления» отдельных фракций по ситовому составу. При этом можно пользоваться простой установкой, подобной той, которая осуществлена на коксогазовом заводе в Ороне (рис. 25).

Дозированные угли проходят барабанный смеситель *T* и поступают на грохот *C*, сита которого имеют отверстия в 2 или 3 мм. Этот грохот с электрообогревом, поскольку грохочению подвергаются влажные угли. Остаток с грохота поступает в дробилку *B*, после которой возвращается в барабан *T*.

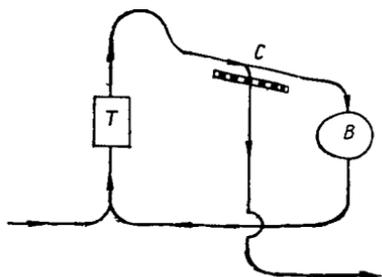


Рис. 25. Простая технологическая схема избирательного дробления

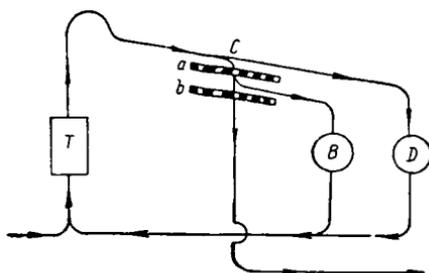


Рис. 26. Технологическая схема избирательного дробления при различной прочности петрографических составляющих

Таким путем удастся получить совершенно однородную смесь во всех фракциях независимо от прочности и гранулометрического индекса исходных углей, так как более прочные фракции с более высоким гранулометрическим индексом циркулируют в системе большее время. Следовательно, устраняется влияние двух факторов, обуславливающих сегрегацию: начального ситового состава и прочности углей.

Однако рассмотренная схема не может считаться удовлетворительной в отношении равномерного распределения петрографических ингредиентов различной прочности в отдельных фракциях. В этих условиях петрографические составляющие органического и неорганического происхождения имеют тенденцию концентрироваться в более крупных фракциях. Для устранения влияния третьего фактора сегрегации — различия в механической прочности отдельных составляющих, следует разделить на две фракции смесь, получаемую по схеме рис. 25. Крупная фракция будет характеризоваться повышенным содержанием прочных петрографических составляющих, а в мелкой фракции будет наблюдаться недостаток этих составляющих. Соответствующая технологическая схема подготовки угля в этом случае представлена на рис. 26.

Дозированные угли с их исходным ситовым составом, пройдя барабанный смеситель *T*, разделяются на две фракции на сите грохота *C*. Остаток на сите додрабливается в дробилке ударного действия *D*, а полученный продукт возвращается в барабан *T*. Уголь, прошедший через сито *a* на сите *b*, в свою очередь разделяется на две фракции. Остаток на сите *b*, обогащенный более прочными составляющими, чем фракция, прошедшая через сито, подвергается контролируемому и прогрессивному дроблению в дробилке *B* и рециркуляции в барабане *T* до тех пор, пока его гранулометрический индекс не совпадет с таковым для мелкой фракции.

Такая схема в целом обеспечивает полную однородность шихты как по отдельным компонентам, так и по петрографическим составляющим.

Шихта для коксования содержит слабоспекающиеся угли. В этом случае применение принципа гомогенности становится недостаточным, и его нужно дополнить принципом тонкого измельчения инертных компонентов. Причем при тонком измельчении лишь слабоспекающихся или неспекающихся углей может быть получен простой эффект, тогда как при одновременном тонком измельчении прочных и инертных составляющих хорошо спекающихся компонентов эффект будет двойным.

При тонком измельчении лишь слабоспекающихся компонентов все компоненты шихты делятся на группы: *A*, в которую входят спекающиеся угли, *B*, объединяющую слабоспекающиеся и неспекающиеся угли.

Угли каждой из этих групп отдельно подвергаются «контролируемому дроблению» по вышеописанным схемам с получением для каждой из групп измельченной и гомогенной смеси, постоянной во времени, независимо от прочности и ситового состава отдельных исходных углей. Полученные таким путем два измельченных продукта смешивают в смесителе, например в дробилке Карра.

При подготовке угля следует учитывать следующие четыре фактора:

- 1) степень инертности углей группы *B* по сравнению с углями группы *A*. Чем более инертны угли группы *B*, тем более тонкого измельчения они требуют;
- 2) относительная степень прочности углей группы *A* и *B*;
- 3) эффект дробления в аппарате окончательного смешения;
- 4) степень ожирнения шихты для коксования. Чем меньше ожирнение, тем в большей степени следует избегать избытка переизмельченной фракции в углях группы *B*, т. е. иметь большее содержание зерен среднего класса.

В качестве примера разберем подготовку угольной шихты следующего состава: 60% длиннопламенного лотарингского уг-

ля, 25% жирного рурского угля и 15% полужирного угля завода Шапель.

Отнесем к группе А два последних угля и к группе Б — лотарингский уголь. Оба угля группы А характеризуются примерно равной прочностью. Уголь группы Б обладает резко повышенной прочностью. Предварительные опыты показали целесообразность введения в шихту углей группы А с измельчением 0—3 мм и углей группы Б с измельчением 0—1,2 мм. Следует использовать дополнительное измельчение углей при окончатель-

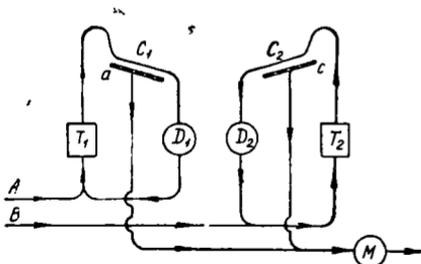


Рис. 27. Технологическая схема избирательного дробления при различной прочности компонентов шихты

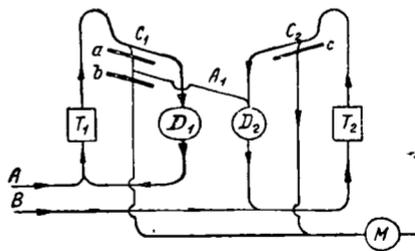


Рис. 28. Технологическая схема избирательного дробления при значительных различиях в степени метаморфизма и коксующести компонентов

ном смешении в дробилке Карра, при этом верхний предел дробления перед окончательным смешением для углей группы А будет равным 4 мм и для угля Б — 1,5 мм.

Несмотря на тонкое измельчение угля Б, учитывая его плохую спекаемость, не следует создавать большой удельной поверхности зерен во избежание большого количества пыли. Поэтому средний размер зерен должен быть возможно большим, например 0,5 мм, что достигается путем последовательного и прогрессивного дробления. Так, например, класс выше 1,5 мм измельчается постепенно с циркуляцией угля в дробилке, с выходом не 100%, а, скажем, 60%. В данных условиях вместо дробилки целесообразнее применять дезинтегратор ударного действия, значительно снижающий выход пыли.

Построенное по такому принципу углеподготовительное отделение на заводе Маннесмана в Гельзенкирхене, рассчитанное на производительность 250 т/час, может работать также и по принципу двойного эффекта. Принцип действия его показан на рис. 27. Шихта для коксования состоит из 85% жирного рурского угля с выходом летучих 31% (уголь А) и 15% тощего, неспекающегося угля с выходом летучих 15% (класс В).

В схеме предусмотрены две цепи аппаратов, в каждом из которых измельчение осуществляется стадийно с автоматиче-

ским регулированием крупности помола. На рис. 27 T_1 и T_2 — барабаны, C_1 и C_2 — грохоты, D_1 и D_2 — дезинтеграторы или дробилки. Уголь А измельчается до класса ниже 4 мм, уголь В — до класса ниже 1,5 мм. В смесителе М — дробилке Карра — происходит доизмельчение соответственно до класса 0—3 мм и 0—1,2 мм.

Двойной эффект подготовки угля: тонкое измельчение слабоспекающихся и неспекающихся углей с одновременным додробливанием прочных и инертных составляющих хорошо спекающихся компонентов шихты. Задача сводится к тому, чтобы выделить прочные и неспекающиеся составляющие спекающихся углей и подвергнуть их такому же контролируемому и прогрессивному дроблению, как и слабоспекающиеся или неспекающиеся угли. Благодаря этому сужается предел ситового состава шихты и увеличивается содержание классов средних размеров. Другой способ решения задачи заключается в том, чтобы после выделения прочных и инертных ингредиентов частично или целиком удалить их из шихты.

Шихта составлена из углей со значительными различиями в степени метаморфизма и коксуемости. Применение этой схемы углеподготовки целесообразно при использовании хорошо коксующихся, но твердых углей с большим или меньшим содержанием плохо коксующихся петрографических ингредиентов. Такое двойное действие возможно при подготовке углей по схеме, представленной на рис. 28. Различие по сравнению со схемой, представленной на рис. 27, заключается в том, что в данном случае грохот C_1 выполнен с двумя ситами. Размер отверстий сит a и b на основе предварительных петрографических исследований выбирается таким, чтобы отделить большую часть твердых инертных составных частей органического и неорганического происхождения. Эти составные части поступают далее в дробилку D_2 системы В, где измельчаются совместно с крупным зерном неспекающихся углей, поступающих в систему В. Продукт из дробилки D_2 измельченный до нужного предела, поступает в смеситель М.

По такой схеме работают углеподготовительные отделения в Тионвиле и Понт-а-Мусон, осуществляющие подготовку шихты из плохоспекающихся длиннопламенных лотарингских, хорошо коксующихся жирных рурских и отошенных аахенских углей.

Если нужно получить особо малозольный кокс из шихты с недостаточно хорошей коксуемостью, представляется целесообразным, прежде чем подавать в дробилку D_2 выделенные в системе А твердые инертные компоненты, предварительно выделить из них минеральные составные части. Отделение минеральных составных частей от органических инертных частей, например дюрена, может быть осуществлено при помощи пневматиче-

ского стола, эффективность которого в данном случае вследствие работы на узкой фракции будет достаточно высока.

Таким образом, при избирательном дроблении путем соответствующего комбинирования операций грохочения, измельчения и смешения, независимо от свойств исходных углей, можно получить постоянную по свойствам и ситовому составу шихту, обеспечивающую производство кокса с равномерной структурой и постоянными высокими механическими качествами.

Влияние избирательного дробления углей на их насыпной вес

Если крупность зерна исходных углей составляет 0—10 мм, содержание класса <3 мм при обычных схемах измельчения будет около 80%. Однако в зависимости от свойства исходного сырья и технологии измельчения верхний предел по крупности может доходить до 6, а иногда и до 10 мм. При избирательном дроблении тех же углей заданный верхний предел измельчения непременно выдерживается на 100%. С другой стороны, для получения прочного кокса и увеличения производительности коксовых печей необходимо стремиться к наибольшей величине насыпного веса шихты с тем, однако, чтобы давление вспучивания не превышало опасного предела. Как известно, насыпной вес шихты определяется ее влажностью и степенью измельчения.

Один и тот же диапазон классов, например от 0 до 5 мм, как уже указывалось, может дать неограниченно большое число кривых распределения. Для пяти характерных кривых распределения (см. рис. 22) на рис. 29 представлена зависимость насыпного веса от влажности. Следует отметить, что кривые I, IV и V, соответствующие шихтам, распространенным в обычной практике коксования, находятся в области низких значений насыпного веса, в то время как кривая III и особенно кривая II располагаются высоко.

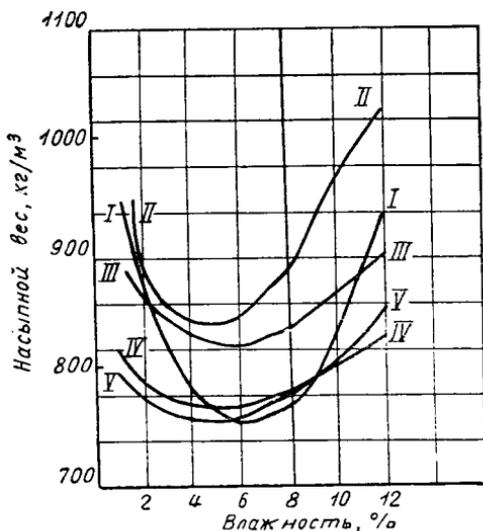


Рис. 29. Зависимость насыпного веса от влажности для углей различного ситового состава

Низкий насыпной вес в случае кривой распределения *I* объясняется чрезмерно высоким содержанием тонких частиц (около 60% ниже 1 мм и 45% ниже 0,5 мм), что приводит к значительному действию сил поверхностного натяжения на большой удельной поверхности частиц. В случае кривой распределения *V* низкий насыпной вес объясняется значительным участием крупных классов (35% выше 4,5 мм). В этом случае такого малого количества мелких классов (2% < 1 мм) не хватает для заполнения свободного пространства между крупными зёрнами. Такие же соотношения имеют место для кривой распределения *IV*. Высокий насыпной вес в случае кривой *II* объясняется тем, что этот уголь на 40% состоит из класса 0—1 мм и на 40% — из класса 4—5 мм. В сочетании с 20% среднего класса 1—4 мм создаются наилучшие условия для максимальной плотности упаковки частиц. Кривая *III*, соответствующая равномерному распределению классов по крупности, хотя и не показывает столь высоких значений насыпного веса, как в предыдущем случае, однако располагается значительно выше, чем кривые *I*, *IV* и *V*, особенно в области низких влагосодержаний.

Таким образом, при влажности угля от 8 до 10% путем соответствующего изменения ситового состава насыпной вес его может быть существенно увеличен, например при переходе от случая *I* к случаю *II* увеличение насыпного веса составляет 130 кг/м³, или 18%.

При коксовании с трамбованием получаются аналогичные соотношения, но лежащие в области более высоких абсолютных значений насыпного веса. При трамбовании кривая *I* соответствует минимальным значениям насыпного веса, так как большое количество мелочи, содержащейся в угле, в этом случае играет роль пластичного тормоза, затрудняющего спрессовывание угля.

Если суммарный диапазон классов уменьшить от 0—5 мм, например до 0—3 мм, сохранив прежнее распределение классов по крупности, изменение насыпного веса с влажностью сохраняет тот же характер, что и для диапазона 0—5 мм, однако абсолютные значения насыпного веса меньше.

Определения насыпного веса в зависимости от влажности были проведены также для проб с диапазоном классов 0—4, 0—2 и 0—1 мм. Для каждой из этих проб были получены кривые распределения, аналогичные *I—V*. Результаты определения насыпного веса для практически наиболее интересных кривых распределения *I*, *II*, *III* при влажности 8% показывают, что при сокращении диапазона классов насыпной вес угля во всех случаях резко уменьшается. Так, при сокращении диапазона классов с 0—5 до 0—1 мм понижение насыпного веса составляет 25—27%. Полученные результаты свидетельствуют также о возмож-

ности сокращения диапазона классов без понижения насыпного веса путем подбора соответствующей кривой распределения. Например, осуществив распределение по кривой II, а не по кривой I, можно для класса 0—2 мм сохранить тот же насыпной вес, что и для класса 0—5 мм. Таким образом, путем избирательного дробления угля можно разрешить противоречие, заключающееся в том, что хотя тонкий помол улучшает качество кокса, он одновременно с этим понижает насыпной вес угольной шихты. При избирательном дроблении насыпной вес может быть не только сохранен на прежнем уровне, но в некоторых случаях даже увеличен.

Ниже приводятся примеры улучшения кривой распределения при избирательном дроблении.

Пример. Обычная схема подготовки углей представлена на рис. 25. Используемый для опытов уголь класса 0—10 мм имеет следующий гранулометрический индекс:

$$G_1 = 3,2 \frac{1,3/5,6}{0,2/8,6} 0/10,$$

что соответствует кривой ABC на рис. 30. При обычном измельчении этого угля до 100% < 3 мм гранулометрический индекс был равен

$$G_2 = 0,32 \frac{0,18/0,75}{0,1/1,8} 0/3.$$

Полученное распределение характеризуется кривой ADE на рис. 30. Оно также является неблагоприятным вследствие высокого содержания мелких классов (83% < 1 мм и 68% < 0,5 мм). При избирательной подготовке по схеме (см. рис. 25) при том же диапазоне классов 0—3 мм конечный продукт имеет гранулометрический индекс

$$G_3 = 1,6 \frac{0,8/2,6}{0,15/2,9} 0/3,$$

соответствующий кривой AFE на рис. 30. Эта кривая получена в результате сложения двух частей: кривой AB (предварительный отсев класса 3 мм) и GE (избирательное дробление класса > 3 мм). Кривая AFE по своей конфигурации располагается между прямолинейным распределением и кривой в виде обратного S. Как было показано выше, последняя кривая распределения соответствует наибольшей плотности упаковки зерен, т. е. наивысшим значениям насыпного веса угля.

На рис. 31 показано, как велики различия в насыпном весе при обычном (кривая 1) и при избирательном измельчении (кривая 2) до класса 0—3 мм при различной влажности. Так, например, при влажности 8% увеличение насыпного веса со-

ставляет 9%. При введении микродобавок масел увеличение насыпного веса делается еще больше.

Промышленные испытания метода Совако на четырех коксовых установках показали, что в результате избирательной подготовки шихты происходит значительное повышение механической прочности кокса (выход класса > 40 мм в барабане Ми-

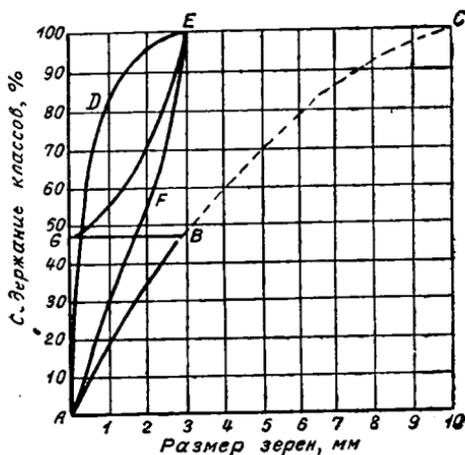


Рис. 30. Кривые ситового состава шихты при обычном и избирательном дроблении

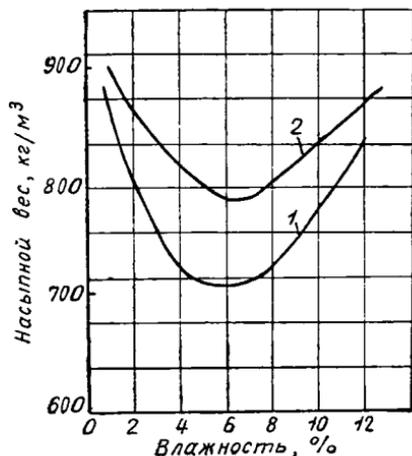


Рис. 31. Зависимость насыпного веса шихты от влажности при обычном и избирательном дроблении:

1 — обычное дробление; 2 — избирательное дробление

кум повышается на 4—12,5%; выход мелочи < 10 мм — на 2—4% ниже). Значительно более высоко следует оценить достигнутую при этом однородность качества кокса.

В последнее время М. Энгсхубер [168] успешно применил принципы избирательного дробления для улучшения качества кокса, получаемого из верхнесилезских малометаморфизованных (тип 33) углей. На опытной установке Института энергетики в Лейпциге им было разработано несколько соответствующих технологических схем углеподготовок, рассчитанных на производительность 110 т/час. Сочетание измельчения в замкнутом цикле с петрографическим обогащением лишь незначительно повышает капиталовложения.

Вопрос о целесообразности применения избирательного дробления при подготовке петрографически неоднородных кузнечных углей уже давно привлекает внимание советских исследователей [124].

Е. М. Тайц [105] отмечал, что для улучшения качества кокса

из полуматовых и матовых углей Прокопьевского-Киселевского месторождения именно полуматовые угли вследствие их меньшей спекаемости должны подвергаться более тонкому помолу. Это обстоятельство должно учитываться при выборе методов измельчения коксовой шихты и ее компонентов.

В связи с решением внедрить в шихты коксохимических заводов кузнецких углей марок СС в коксовом цехе Челябинского металлургического завода Е. М. Тайц и В. С. Познанская провели опытное ящичное коксование шихт при более тонком измельчении крупных классов. Как показывают результаты опытов, додрабывание класса >2 мм до 1 мм в шихте, содержащей угли марки СС, приводит к существенному увеличению механической прочности кокса; внешний вид кокса и его микроструктура заметно меняются.

С. И. Сухенко и А. И. Кузнецова [97] провели успешные опыты по применению метода избирательного дробления при подготовке ожиренной шихты из кузнецких углей. Шихта $\dot{\iota}$ подготавливалась с отсевом крупных классов и ступенчатым раздроблением их в одном

случае под сито 2 мм, в другом — под сито 1 мм. Рядовые угли предварительно дробились под сито 10 мм. После тщательного смешения общая проба разделялась на две равные части. Одна часть рассеивалась на сите с отверстиями 4 и 2 мм. Класс 10—4 измельчался до крупности 4—0 мм, а затем подвергался рассеву на сите 2 мм. Класс 4—2 мм, полученный при расसेве шихты и предварительном дроблении класса 10—4 мм, смешивался и измельчался до прохождения через сито 2 мм. На коксование поступала шихта крупностью 2—0 мм, подготовленная по схеме ДШ (рис. 32). Из второй половины пробы аналогичным способом подготавливалась шихта с додрабыванием класса 4—2 мм под сито 1 мм.

При подготовке шихты по схеме ДК таким же способом производилось дробление каждого компонента. В одной серии опытов коксовалась шихта с додрабыванием крупных классов каждого компонента под сито 2 мм, в другой — под сито 1 мм.

Содержание пыли в шихте при ступенчатом дроблении под сито 2 мм составляет 25,8—30,0%, а в той же шихте при обычном производственном дроблении оно достигает 46%.

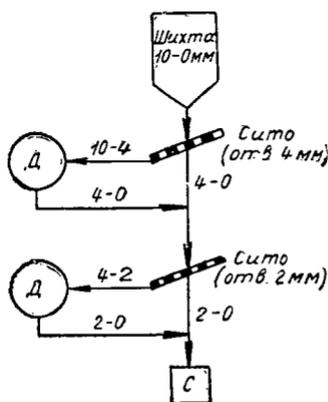


Рис. 32. Схема ступенчатого дробления шихты: Д — дробилка; С — смеситель

Результаты ящичных коксований показали, что наилучший по качеству кокс дает шихта, подготовленная методом ступенчатого дробления независимо от схемы.

Дальнейшие опыты проводились с шихтой, содержащей 60% плохо коксующихся углей (СС, Г и КЖ2), в том числе 20% углей Г и также подготовленной ступенчатым дроблением.

Лучший по качеству кокс был получен из шихты ступенчатого дробления под сито 2 мм. Прочность кокса из шихты ступенчатого дробления под сито 1 мм не повышалась.

Далее были поставлены опыты по определению качества кокса из шихты, плохо коксующиеся компоненты которой ступенчато измельчены под сито 2 мм, а хорошо коксующиеся измельчены меньше (90% под сито 3 мм). И в этом случае прочность кокса существенно возрастает по сравнению с коксом из шихты обычного производственного дробления.

Проведенные опыты показали целесообразность применения метода избирательного дробления для подготовки шихт из кузнечных углей. При этом значительно сокращается содержание пыли (0,5—0 мм) в шихте и существенно улучшается прочность кокса, особенно из шихт ухудшенного состава с повышенным участием углей марок СС, КЖ2 и газовых. Полученные результаты показывают, что при подготовке шихты по этому методу можно ограничиться ступенчатым дроблением крупных классов до 2 мм.

М. Г. Фельдбрин, Н. С. Грязнов и И. М. Лазовский [113] на ползаводской установке ВУХИНа исследовали применение способа избирательного дробления шихт с целью увеличения доли участия газовых и слабоспекающихся углей в шихтах восточных заводов. Кроме того, была поставлена задача подбора перспективных шихт с преобладающим участием газовых и слабоспекающихся углей (40—60%).

Результаты опытных коксований показали, что применение избирательного дробления открывает возможность повышения участия в шихтах некоторых восточных заводов газовых углей до 15—20% и слабоспекающихся углей марки СС до 15%, в основном за счет дефицитных хорошо спекающихся углей.

Избирательное дробление шихт с преобладающим участием газовых и слабоспекающихся углей (40—60%) позволяет существенно повысить механическую прочность кокса — на 12—28 кг по барабанной пробе при условии, что эта шихта обладает достаточной спекаемостью ($y \geq 15$ мм).

При избирательном дроблении резко повышается прочность кокса из хорошо спекающихся шихт, но дающих при обычном измельчении сильно дробящийся кокс. Это относится прежде всего к шихтам с большим количеством газовых углей. Наобо-

рот, прочность кокса из шихт пониженной спекаемости, характеризующегося значительной истираемостью, не может быть высокой при избирательном дроблении.

По данным ВУХИНа [55], наиболее рациональной является схема избирательного дробления, предусматривающая грохочение исходного угля класса 12—0 мм на ситах 4×10 и 2×8 мм и измельчение угля класса 4×10—2×8 мм до 1—0 мм. При этой схеме увеличивается средний размер зерен, снижается содержание класса 0,42—0 мм в шихте и увеличивается ее насыпной вес.

С точки зрения повышения прочности кокса при избирательном дроблении шихты схемы ДК и ДШ равноценны.

Таким образом, недостатком обычной схемы подготовки углей к коксованию (смешение исходных углей и их отдельных составных частей: обогащенная мелочь, пыль, шлам с последующим измельчением смеси) является недостаточный учет следующих факторов:

а) различия в ситовом составе исходных углей;

б) различия в прочности исходных углей;

в) различия в прочности петрографических составляющих отдельных углей или шихты.

Способ избирательного дробления позволяет получать кокс более равномерного качества и с повышенной механической прочностью. Выбор оптимального диапазона классов угля по прочности определяется:

а) степенью метаморфизма и коксуемостью отдельных компонентов шихты;

б) коксуемостью подготовленной шихты;

в) прочностью углей;

г) измельчающим действием конечного смесителя.

Добавлением весьма малых количеств легкого масла либо подогретого до 60° тяжелого топочного масла в значительной степени нейтрализуется влияние влажности на насыпной вес угля.

При избирательном дроблении особенное значение имеет распределение угля по крупности внутри данного диапазона классов. Избирательное дробление позволяет производить более тонкий помол шихты без существенного уменьшения насыпного веса ее. В некоторых случаях насыпной вес может быть даже повышен.

Метод избирательного дробления позволяет применять различные варианты подготовки шихты: удаление крупных классов, додрабливание частиц матового и зольного угля, выделение угля промежуточных классов различной крупности, дробление угля промежуточных классов до различной крупности, обогащение различных классов и т. п.

При избирательном дроблении шихты происходит ослабле-

ние внутренних напряжений кокса, что во многих случаях ведет к уменьшению растрескивания и всегда способствует понижению дробимости кокса. Однако одновременно с этим структурная прочность кокса уменьшается вследствие уменьшения насыпного веса, увеличения газопроницаемости пластической массы и уменьшения ее текучести. Следовательно, при избирательном дроблении действуют два противоположно направленных фактора — один из них повышает, а другой понижает прочность металлургического кокса. Поэтому эффективность избирательного дробления должна зависеть от преобладания какого-либо из указанных факторов [26].

Как отмечалось в § 4 гл. IV, в противоположность избирательному дроблению при уплотнении угольной шихты повышается структурная прочность кокса и вместе с этим увеличивается его дробимость. Сочетание этих процессов позволит ограничить характерные для них отрицательные стороны воздействия на процесс формирования кокса — понижение структурной прочности при избирательном дроблении и повышение напряженности кокса при уплотнении шихты.

Воздушная сепарация угля с додробливанием крупных классов

Существенным недостатком способа избирательного дробления углей является необходимость в предварительном выделении мелких классов углей. Для этой цели приходится устанавливать большое количество грохотов с электрообогревом сит, что усложняет схему установки и создает значительные трудности в ее эксплуатации.

Для удаления из угля класса 3—0 мм до дробления и обеспечения тонкого измельчения высокосольных петрографически неоднородных частиц М. Г. Марченко, М. В. Митрофанов и Б. С. Филиппов [70] предложили схему воздушной сепарации угля в трубе с додробливанием крупных классов. Сущность способа заключается в том, что уголь или шихта крупностью 25—0 мм подвергается воздушной сепарации в трубе, причем класс 3—0 мм уносится потоком воздушной струи в циклон, а класс 25—3 мм поступает в молотковую дробилку, додробливается до заданного уровня и также уносится потоком воздуха в циклон, а затем в бункер.

Эта схема была опробована в ползаводском масштабе И. М. Лазовским, Н. С. Грязновым, Ф. А. Попутниковым и др. [56]. Опытная установка (рис. 33) состоит из бункера 1 для загрузки угля, питателя-забрасывателя 2, сепарационной трубы 3, циклона 4, всасывающей и нагнетающей труб 5, бункера 6, вентилятора 7 и молотковой дробилки 8.

В молотковой дробилке устанавливают колосниковую решетку с зазорами, обеспечивающими заданную степень измель-

чения шихты. Включают вентилятор и через питатель-забрасыватель подают уголь в сепарационную трубу. Частицы угля крупностью меньше 3 мм увлекаются потоком воздуха и поступают в циклон. Частицы угля больше 3 мм, а также сrostки угля и породы несколько менее 3 мм поступают в молотковую

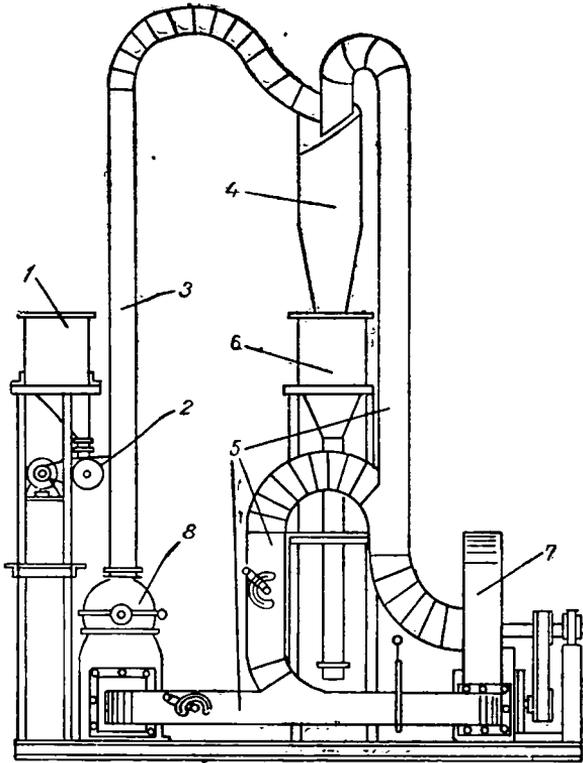


Рис. 33. Схема полузаводской установки с додроблением крупных классов

дробилку. Из дробилки воздушный поток уносит в циклон и далее в приемный бункер частицы угля, измельченные до 3—0 мм. Сrostки угля и породы вследствие повышенного удельного веса многократно возвращаются в молотковую дробилку и додробляются.

Производительность установки 200 кг/час, скорость воздушного потока 12 м/сек, что обеспечивает скорость, необходимую для уноса с потоком воздуха частиц угля крупностью 3—0 мм.

Испытанию подвергались производственные шихты крупностью 12—0 мм одного из восточных заводов. В одной из них

(без участия углей марки К) содержалось 36% газового угля. Шихты измельчались обычным способом до 92% содержания класса 3—0 мм, избирательным дроблением и на установке для воздушной сепарации до той же степени измельчения.

При коксовании шихты 1 с участием 36% газового угля, подготовленной на установке для воздушной сепарации, был получен кокс с барабанным остатком 324 кг против 317 кг при избирательном дроблении шихты и 311 кг при обычном ее измельчении.

При коксовании шихты 2, составленной из углей Ж2, КЖ и К₂, прочность кокса из шихты, подготовленной воздушной сепарацией (331 кг), возросла по сравнению с обычной подготовкой шихты (324 кг) и соответствовала прочности кокса, полученной при избирательном дроблении (330 кг).

Причина эффективности подготовки шихты путем воздушной сепарации заключается в том, что при одной и той же степени измельчения углей тонкие классы 0,42—0 мм или 0,2—0 мм образуются в меньшем количестве, в среднем их содержится на 7,5% меньше, чем при обычном дроблении, и на 3,5% меньше, чем при избирательном дроблении. Кроме того, при воздушной сепарации крупные классы выше 3,2 мм и 3,2—1,6 мм характеризуются минимальной зольностью, а класс 0,2—0 мм, как правило, максимальной зольностью.

Этот интересный результат является следствием того, что при воздушной сепарации эвакуируются в первую очередь не только более мелкие, но и крупные частицы с меньшим удельным весом, а более тяжелые зольные частицы, многократно циркулируя в дробилке, переходят главным образом в более мелкие классы.

С понижением зольности в крупных классах уменьшается различие в усадке этих зерен и окружающей спекшейся массы полуккокса, благодаря чему снижаются внутренние напряжения и дробимость кокса.

Поскольку шихта не переизмельчается, суммарная поверхность частиц уменьшается, поэтому на смачивание твердой поверхности приходится больше жидкой фазы, что приводит к улучшению спекания и возрастанию структурной прочности кокса.

Таким образом, результаты исследования находятся в соответствии с теорией формирования кокса в зависимости от степени измельчения углей [26].

На основе первых технологических испытаний можно считать, что воздушная сепарация углей с дроблением крупных и тяжелых частиц позволяет снизить содержание пыли в угле, уменьшить зольность крупных классов и заметно повысить механическую прочность кокса.

Для установления основных показателей подготовки углей воздушной сепарацией желательнее построить соответствующую опытно-промышленную установку и провести на этой установке широкие исследования различных шихт с участием газовых и слабоспекающихся углей.

Спроектированная для Нижне-Тагильского коксохимического завода опытно-промышленная установка для воздушной сепарации углей основана на применении техники пылеприготовления: вентилируемой шахтной мельнице, сепаратной камере для регулирования крупности отводимых частиц и циклоне. Предусмотрено транспортирование всей шихты пневматическим путем. Воздушной сепарации подвергается шихта с влажностью 6—7%.

Для обработки более влажных углей и уменьшения расхода электроэнергии путем исключения пневматического транспорта ВУХИН предусматривает развитие данного метода на основе пневмомеханической сепарации [281]. Метод отличается тем, что из угля, поступающего на коксование и прошедшего предварительное дробление до 12—0 мм, механическим путем отделяется влажная мелочь. Крупная, более сухая часть угля поступает на дробление в процессе воздушной сепарации. Как показали проведенные опыты, при влажности угля 8—9% влажность зерен размером более 3 мм не превышает 5—6%. По такой схеме требуется обрабатывать воздушной сепарацией не более половины всего количества угля.

При проведении полузаводских испытаний были опробованы два варианта разделения углей по пневмомеханической схеме.

По первому варианту до воздушной сепарации в мелочь отделялась преобладающая часть угля. Для этого подрешетный продукт был выделен в более широких пределах крупности (5—0 мм). На окончательное дробление и воздушную сепарацию поступало только около 40% угля крупностью 12—5 мм. Конечный продукт после воздушной сепарации выдавался в виде класса 3—0 мм.

По второму варианту на первой ступени выделялся более мелкий продукт, а окончательному дроблению и воздушной сепарации подвергалась часть угля размером 12—3 мм. При этом после воздушной сепарации получали более крупный конечный продукт, содержащий 92,5 и 84,5% класса 3—0 мм.

Опыты показали, что более эффективным для повышения прочности кокса оказался второй вариант пневмомеханической подготовки. При степени измельчения крупной части шихты способом воздушной сепарации до обычного уровня (91,5% класса 3—0 мм) остаток кокса в барабане увеличился на 14 кг. Даже при грубом измельчении крупной шихты при пневмомеханической сепарации до 84,5% класса 3—0 мм барабанный остаток кокса повысился на 6 кг.

Проведенными опытами показана возможность эффективного применения воздушной сепарации углей после предварительного отделения влажной мелочи. При этом путем воздушной сепарации в процессе дробления обрабатывается только крупная часть шихты (класс более 3 мм), составляющая в среднем около 50%.

Дифференцированное дробление

Крупные зерна жирных и коксовых углей, переходя в пластическое состояние, хорошо спекаются с остальными компонентами шихты. В то же время коксование крупных зерен газовых углей и тем более отощенных спекающихся углей не обеспечивают однородной структуры кокса. Следовательно, расширение использования газовых углей, механически более прочных, чем остальные компоненты шихты, а также углей ОС с пониженным пластическим слоем, требует более тонкого дробления их. Это обстоятельство, а также заметное увеличение содержания мелких классов в углях в связи с механизацией их добычи делает целесообразным пересмотр схем подготовки углей и режима дробления их.

Газовые угли Донецкого бассейна отличаются повышенным содержанием трудно дробимого дюрена. Поскольку дюрэн весьма слабо спекается, возникло представление о необходимости более тонкого измельчения этих углей. Однако следует учитывать, что дюрэн в углях различных пластов и марок имеет разный петрографический состав и неодинаковую спекаемость. Так, матовый уголь Кизеловского бассейна дает хорошо сплавленный блестящий кокс; дюреновые угли Западного Донбасса также хорошо спекаются. Таким образом, необходимость более тонкого измельчения газовых углей в каждом отдельном случае должна подтверждаться исследованиями петрографического состава, а также коксуемости отдельных петрографических составляющих.

По мере снижения размера зерен донецких углей наблюдается постепенное уменьшение содержания дюрена и кларена и рост содержания витрена. Это изменение петрографического состава происходит скачкообразно: при переходе к фракциям от 1 мм и ниже содержание дюрена резко понижается, а витрена соответственно возрастает [3]. Дюрэн и кларэн донецких углей являются преимущественно споровыми, и содержание фюзенизированных компонентов в них невелико. Именно споровым характером дюрена можно объяснить тот факт, что спекаемость крупных классов донецкого газового угля в противоположность кузнецким оказывается более высокой, чем мелких классов.

С. Г. Аронов и Х. М. Моисеева [3] нашли, что при дроблении

донецких газовых углей концентрация дюрена в более крупном классе (5—3 мм) выше, чем в классе 4—2 мм. По-видимому, в применении к этим углям петрографическое разделение их целесообразно проводить на классы 5—3 и 3—10 мм. Это практически легче осуществимо, чем разделение на классы 4—2 и 2—0 мм.

С точки зрения получения равномерного ситового состава шихты, увеличения средней крупности зерна и уменьшения расхода электроэнергии представляет интерес отдельное измельчение газовых углей [4], поскольку последние являются наиболее трудно дробимыми из всех компонентов шихты.

Распространенная на коксохимических заводах схема окончательного дробления всей сдозированной шихты не позволяет учитывать особенности свойств, в частности, газовых углей и вызывает необходимость переизмельчения основной массы шихты из-за различия дробимости углей, входящих в ее состав.

Для определения степени измельчения отдельных углей и выбора рациональной схемы дробления Украинским углехимическим институтом с 1957 г. проводятся исследования в лабораторных, полужаводских и промышленных условиях [43].

Полученные результаты показывают, что донецкие жирные и коксовые угли могут быть использованы в шихтах при относительно грубом дроблении (80—85% менее 3 мм). При сохранении схемы дробления ДШ наиболее рационально грубое дробление шихты до 80% > 6 мм, отсев класса выше 6 мм и додробливание его до 100% ниже 6 мм. Характерно, что весьма тонкое измельчение обогащенной шихты до содержания 91% ниже 1 мм лишь незначительно улучшает качество кокса.

Для уточнения оптимальной степени измельчения газовых углей были проведены специальные коксования шихты следующего состава, %: Г 40, Ж 20, К 20 и ОС 20. Измельчение газового угля изменялось от 95 до 70% содержания класса ниже 3 мм. Результаты опытов показали, что обогащенные газовые угли, обладающие пониженной спекаемостью (толщина пластического слоя 10—11 мм и меньше) необходимо измельчать до 90% ниже 3 мм, газовые же угли, обладающие повышенной спекаемостью ($y = 14$ мм и более), можно измельчать до 80% ниже 3 мм. Оптимальную степень измельчения газовых углей следует определять с учетом спекаемости остальных компонентов шихты.

Были проведены также опытные коксования шихты состава, %: Г 20, Ж 40, К 20 и ОС 20 при изменении степени измельчения отощенных спекающихся углей от 84 до 96% ниже 3 мм. Результаты коксования показали, что угли марки ОС должны измельчаться не крупнее 90% ниже 3 мм, а при нулевом пла-

стическом слое или близком к нему должны измельчаться еще более тонко.

Проведенные Украинским углехимическим институтом промышленные коксования на Коммунарском коксохимическом заводе показали, что при укрупнении ситового состава шихты с 90—91% до 80—85% содержания класса 3—0 мм и дифференцированном ее дроблении существенно улучшается качество кокса — содержание класса +60 мм в скиповом коксе увеличивается на 5—6%.

Применение отдельного измельчения компонентов с укрупнением ситового состава шихт помимо улучшения качества кокса позволяет снизить расход электроэнергии и уменьшить количество молотковых дробилок.

Как показывает опыт Запорожского коксохимического завода применение схем дифференцированного дробления и укрупнения ситового состава на заводах с углеобогатительными фабриками позволяет за счет удлинения периода коксования улучшить качество кокса и увеличить на 2—2,5% содержание класса +60 мм в скиповом коксе.

Дифференцированное дробление компонентов шихты уменьшает переизмельчение ее, снижает содержание класса 0,5—0 мм и одновременно приводит к увеличению насыпного веса шихты.

Таким образом, проведенные исследования подтверждают целесообразность перехода в настоящее время на дифференцированное дробление компонентов шихты.

Глава V

ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЕ БРИКЕТИРОВАНИЕ ПЕРЕД КОКСОВАНИЕМ

Предварительное брикетирование угля с последующим нагревом брикетов до высоких температур представляет эффективное средство снижения трещиноватости кокса и повышения прочности его материала.

Внутренние напряжения, возникающие в брикетированном топливе при его коксовании, зависят от прочности материала образующегося кокса на определенной стадии нагрева и градиента скорости усадки. Последний определяется относительной усадкой, характерной для данной шихты, и температурным градиентом. Поскольку размеры брикетов невелики, их нагрев происходит более равномерно — при меньшем температурном градиенте; благодаря этому внутренние напряжения оказываются ниже предельных и при обычных скоростях коксования в коксобрикетах не возникают трещины [103].

Прочность сырых брикетов зависит, как известно, от природных свойств угля (пластичности), давления прессования, степени измельчения угля и других параметров брикетирования. Отсюда понятно, что из прочных сырых брикетов могут быть получены слабые коксобрикеты, если не подобрать необходимый режим коксования; наоборот, при благоприятном режиме коксования даже из бурых углей может быть получен относительно прочный кокс. В зависимости от выбранной скорости коксования меняется динамика усадки угольных зерен и вместе с тем прочность связи на их контактах.

Интересное лабораторное исследование по изучению условий коксования брикетов для получения доменного топлива было проведено Руммелем [268], который измерял усадку и распределение температур в брикетах при нагреве до 700°. Руммель пришел к заключению о том, что растрескивание брикетов вызывается неравномерным распределением температур по сечению, которое приводит к образованию трещин из-за неравномерной усадки. Руммель рассчитал теоретическую кривую скорости повышения температуры при коксовании брикетов, позволяющую уменьшить разность температур между поверхностью и цент-

ром брикетов. Эта идеальная кривая требует медленного нагрева до 200° с постепенным увеличением скорости нагрева при дальнейшем повышении температуры до 700°. Он также показал, что при уменьшении размеров брикетов их термостойкость повышается.

Опыты Е. М. Тайца и И. А. Андреевой [103] показали, что прочность коксобрикетов понижается с увеличением скорости коксования; одновременно наблюдается уменьшение усадки брикетов. Это объясняется тем, что в процессе быстрого нагрева нарушаются контакты между зернами; брикеты становятся менее плотными, линейные размеры их (при постоянстве веса) увеличиваются, т. е. усадка уменьшается. Прочность брикетов закономерно снижается при постепенном уменьшении их усадки.

При большей скорости нагрева увеличиваются силы растяжения, приводящие к отрыву зерен друг от друга. Рост этих сил является следствием повышения скорости усадки зерен. При более интенсивном нагреве и увеличении скорости усадки смещение точек, лежащих на поверхности зерен, к их центрам происходит с большим ускорением, а потому и возникающая при этом сила оказывается большей.

На прочность коксобрикетов большое влияние оказывает также величина исходных зерен угля. При тонком помоле, как известно, увеличивается прочность сырых брикетов. Но, кроме того, при более крупных зернах увеличивается их абсолютная усадка, а это приводит к более заметному нарушению контакта между ними. Отсюда следует, что прочность коксобрикетов увеличивается при тонком помоле угля и малой скорости нагрева брикетов.

Прочность связи на контактах между зернами в брикете в процессе их нагрева определяется давлением прессования. Применение большего давления способствует не только увеличению прочности сырых брикетов, но и сохранности контактов при их коксовании.

Различное поведение брикетированного угля при нагреве определяется пластическими свойствами исходного угля и выходом летучих веществ, так как с увеличением его повышается степень сокращения каждого зерна. Поэтому благоприятные результаты можно ожидать при большой прочности сырых брикетов и малом выходе летучих веществ.

Минимальная брикетируемость соответствует углям с содержанием углерода 80—82% на горючую массу [189]. В то же время в углях этой стадии метаморфизма присутствуют гидроксильные группы и совсем не содержатся карбоксильные группы. Поскольку карбоксильные группы образуются при окислении, была сделана попытка повысить брикетируемость углей этого типа, подвергая их предварительному окислению.

Эксперименты показали, что предварительное окисление углей с содержанием углерода 80,7—81,6% приводит к существенному повышению механической прочности брикетов, пропорциональному времени предварительного окисления.

1. БРИКЕТИРОВАНИЕ БЕЗ СВЯЗУЮЩЕГО, КОКСОВАНИЕ

Исследования в области получения металлургического кокса из бурых углей Урала и Подмосковского бассейна проводились еще в тридцатых годах акад. Н. П. Чижевским с сотрудниками (А. П. Власов, П. И. Неверов, Г. А. Попутников). Им были проведены работы по коксованию смесей подмосковного бурого и донецкого каменного углей, по коксованию подмосковных углей со связующими веществами и без них, по брикетированию челябинского угля и полукокса в смеси с кизеловским углем [124].

Успешные работы в этом направлении проведены под руководством Раммлера [149, 227—229] в Германской Демократической Республике. На заводе в Лаухгаммере впервые в мире буроугольный кокс производится в промышленном масштабе из брикетов, полученных из молодых бурых углей.

В основу метода получения твердого кокса из бурых германских углей (рис. 34) положены следующие принципы:

- а) сушка сырого угля до влажности 12%;
- б) брикетирование мелкоизмельченного угля;
- в) медленная сушка полученных брикетов;
- г) коксование брикетов;
- д) сухое тушение полученного кокса.

Авторы создания промышленного метода получения кокса из бурого угля (Е. Раммлер, Г. Билькенрот) учли в своих исследованиях опыты Н. П. Чижевского, Франка и Флейснера в отношении медленной сушки кускового бурого угля, влажности и необходимости медленного коксования.

В Институте брикетирования Фрайбергской Горной Академии под руководством Раммлера последние годы велись исследовательские работы по получению металлургического топлива из бурых углей [227—230].

Были исследованы различные факторы, влияющие на качество кокса, полученного из брикетов бурого угля. Так, было установлено, что качество кокса повышается с ростом механической прочности изготавливаемых брикетов. Было установлено также, что механическая прочность буроугольных брикетов зависит от исходного сырья: чем моложе и мягче уголь, тем прочнее из него получаются брикеты и, наоборот, чем старше и тверже уголь, тем он труднее брикетируется.

Механическая прочность буроугольного брикета определяется давлением, при котором прессуется уголь, влажностью угля пе-

ред прессованием, степенью измельчения угля, температурой угля и пресс-формы во время прессования и др.

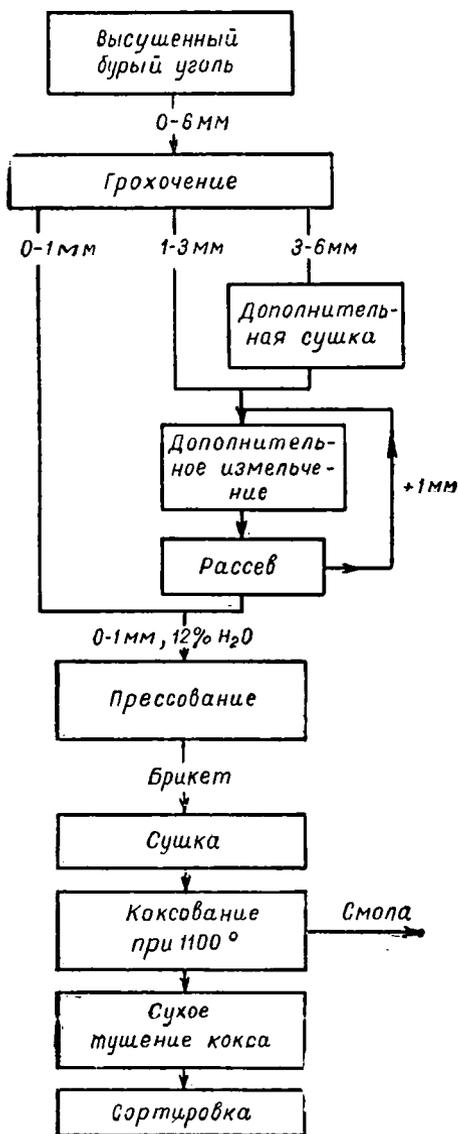


Рис. 34. Схема получения буроугольного кокса по Раммлеру—Билькенроту

С повышением давления прессования механическая прочность брикетов повышается. Однако повышение давления прессования ограничено 2000 кг/см^2 , так как создание высокопроизводительных и экономичных прессов с давлением свыше 2000 кг/см^2 связано с большими техническими трудностями.

Опыты показали, что влажность отдельных фракций различна. Так, например, фракция 0—0,25 мм имеет влажность 10,8%, а фракция 4—6 мм — 25,4%. Дальнейшими опытами было установлено, что такое неравномерное распределение влаги по отдельным фракциям понижает механическую прочность брикета, и для получения буроугольного брикета с высокой механической прочностью необходимо вести процесс прессования не только при оптимальной влажности, но и при равномерном распределении по отдельным фракциям.

Существенное влияние на механическую прочность изготавливаемых брикетов, а следовательно, и на качество коксобрикетов оказывает степень измельчения угля. Чем больше измельчен

уголь, тем выше механическая прочность брикетов. Однако производство брикетов из угля класса 0—1 мм вызывает в промышленных условиях ряд технических трудностей.

Кроме того, кокс, полученный из брикетов, изготовленных из бурого угля класса 0—1 мм, не обладает достаточной реакционной способностью. Поэтому в настоящее время наметилась тенденция к производству буроугольных брикетов для целей коксования из угля класса выше 1 мм. Это должно облегчить изготовление брикетов на фабриках и повысить реакционную способность кокса.

В процессе коксования буроугольных брикетов отрицательную роль играет их влажность. Под воздействием высокой температуры печи вода брикетов начинает быстро испаряться. Образующиеся внутри брикета водяные пары разрывают брикет; вследствие неравномерного испарения воды по толщине брикета происходит неравномерная его усадка, вызывающая растрескивание поверхности брикета. Для устранения вредного влияния влаги в брикетах удалять ее нужно весьма осторожно, при мягком температурном режиме. По нормам, установленным для брикетов, поступающих на коксование, их влажность не должна превышать 10—12% [119].

Исследуется вопрос о влиянии ксилита на процесс брикетирования и качество кокса. Установлено, что ксилит способствует получению более прочных брикетов, но оказывает неблагоприятное влияние на качество кокса. Поэтому ищутся способы удаления его из угля.

Брикеты сушатся дымовыми газами, в которых содержится значительное количество двуокиси углерода и даже кислорода. Такая среда для сушки не вполне благоприятна. Согласно опытам Н. П. Чижевского, сушку следует производить нейтральными газами или в нейтральной атмосфере, а, по данным А. Лиснера, уголь нужно обрабатывать восстановительными газами или в восстановительной атмосфере.

Исходным сырьем для получения буроугольного кокса служат мягкие бурые угли третичного периода с большим содержанием лигнита и мочалообразной клетчатки. Угли эти характеризуются большой влажностью (40—60%); теплота сгорания их на рабочую массу составляет лишь 1700—2500 ккал/кг.

Производство буроугольного кокса основано на коксовании брикетов из тонкоизмельченных углей. Достаточно твердое коксовое вещество образуется лишь при размере зерен угля менее 1 мм в результате коксования брикетов. Подсушенный до определенной влажности уголь крупностью 0—1 мм брикетируется на ленточных прессах, затем брикеты осторожно подсушиваются и коксуются в вертикальных камерных печах (рис. 35).

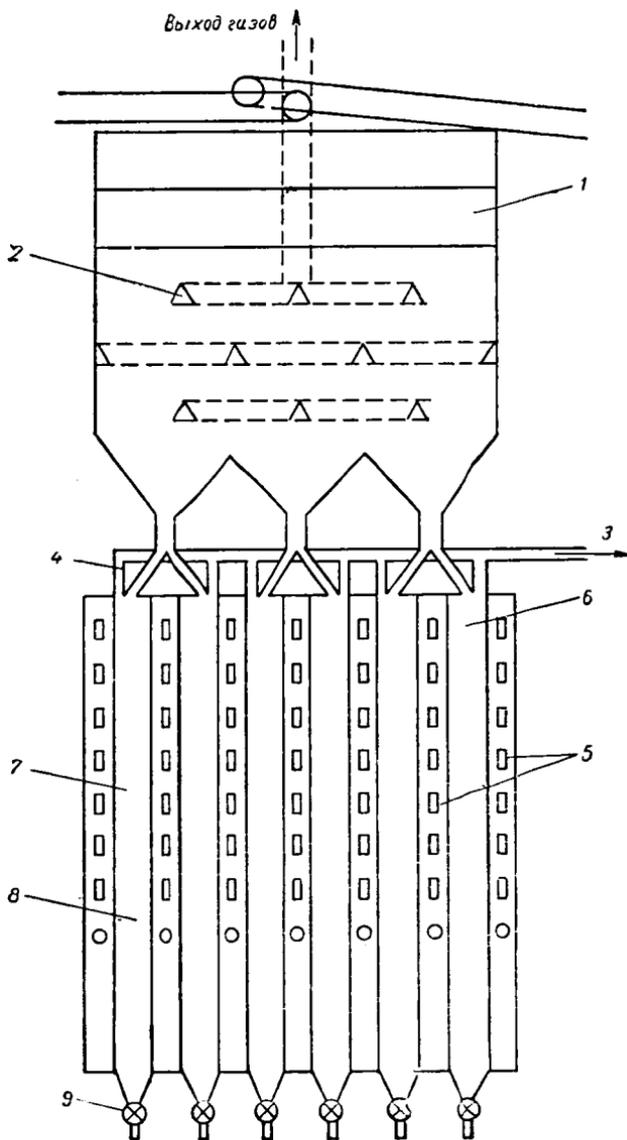


Рис. 35. Схема печи для коксования буроугольных брикетов:

1 — камера сушки; 2 — вход обогревающего газа; 3 — газосборник; 4 — стояк; 5 — обогревательные каналы; 6 — вертикальные камеры с внешним обогревом; 7 — верхняя, слабо обогреваемая зона; 8 — нижняя, сильно обогреваемая зона; 9 — разгрузочное устройство (с затвором)

Ввиду невысокой прочности брикеты доставляются в печи без перегрузки и заметного охлаждения. Над печами находятся сушильные камеры.

Поступившие по транспортной ленте брикеты распределяются передвижными питателями по бункерам сушильных камер.

Зона сушки представляет собой камеру длиной 4200, шириной 2600 и высотой 4700 мм. Для каждой печи имеется самостоятельная сушка.

В камеру сушки нагнетаются продукты горения. Этот газ все время насыщается парами воды, и поэтому часть его выбрасывается в атмосферу, а недостаток пополняется путем поступления продуктов горения с температурой до 500° из отопительной системы.

При нормальном режиме температура газа, циркулирующего внизу камеры сушки, поддерживается в пределах 160—170°, а сверху камеры — 100—110°. В камеру сушки брикеты поступают с 12% влажности, а в камеру коксования они должны поступать с влажностью 1—2%. В камере сушки брикеты находятся около 6,5 час., а затем поступают в зону коксования.

Каждая печь состоит из шести камер и одного рекуператора (см. рис. 35 и 36). Длина камеры 3000, ширина 300 и высота 8000 мм. Четыре такие печи составляют блок. Высота рекуператора 12,5 м. Длина печи вместе с рекуператором 8,4 м. Ширина обогревательных простенков 350 мм. Толщина стенки между камерой и обогревательным простенком 90 мм. Коксовая печь сложена из специального динасового фасонного кирпича. Внизу камера коксования закрывается чугунной вращающейся задвижкой с диаметром 500 мм.

Общий объем камеры коксования составляет 7,2 м³, в камеру загружается от 4 до 4,5 т брикетов. Выдача готового кокса за одну операцию достигает приблизительно одной восьмой части всего объема коксовой камеры.

Печи отапливаются собственным газом коксования, имеющие генераторы для производства генераторного газа не работают. Обратный газ коксования проходит через рекуператоры, где нагревается до 150—200°, а затем поступает в отопительные простенки. В одном простенке печи 14 каналов. Первоначально все 14 каналов отапливались, теперь 4 нижних не отапливаются. Продукты сгорания движутся снизу вверх с нижнего канала (4-го снизу) до верхнего (14-го канала, см. рис. 36). Температура в нижнем канале достигает иногда 1400°.

Подвод газа осуществляется в нижней части камер, на высоте около 2 м от основания; температура в камерах возрастает от 380 вверху до 950—1000° в зоне горения, что обеспечивает постепенный нагрев брикетов. В нижней, неотапливаемой части

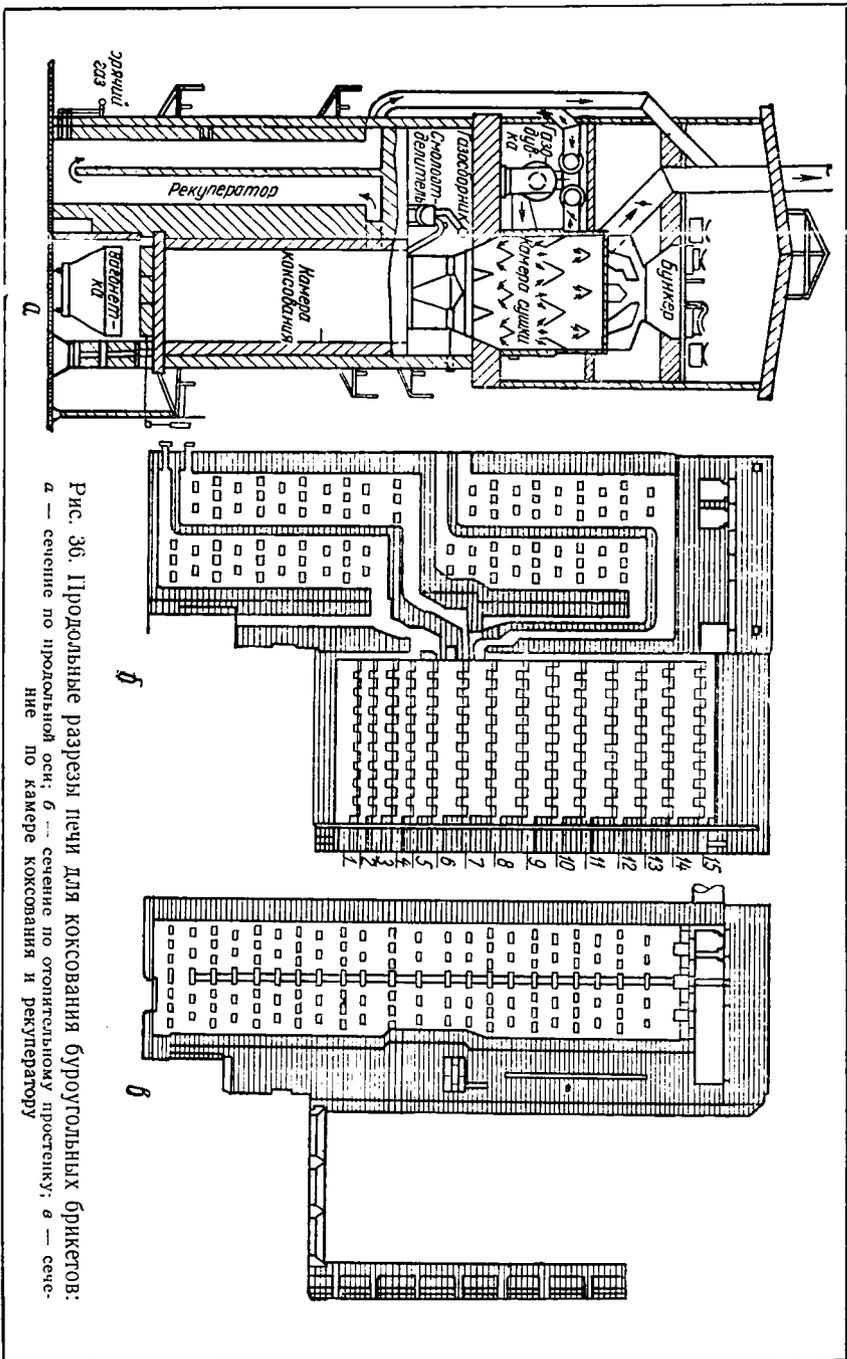


Рис. 36. Продольные разрезы печи для коксования бурогольдых брикетов:
 а — сечение по продольной оси; б — сечение по отопительному простенку; в — сечение по камере коксования и рекуператору

камер происходит некоторое охлаждение брикетов, и температура кокса на выходе составляет около 800° .

Остается нерешенным вопрос об оптимальной температуре конца коксования брикетов. Есть основания думать, что она может не превышать 750° .

Отопительные газы из каналов простенка камеры коксования поступают в рекуператор, где подогревают воздух до $500-600^{\circ}$. Затем дымовые газы уходят в дымовую трубу.

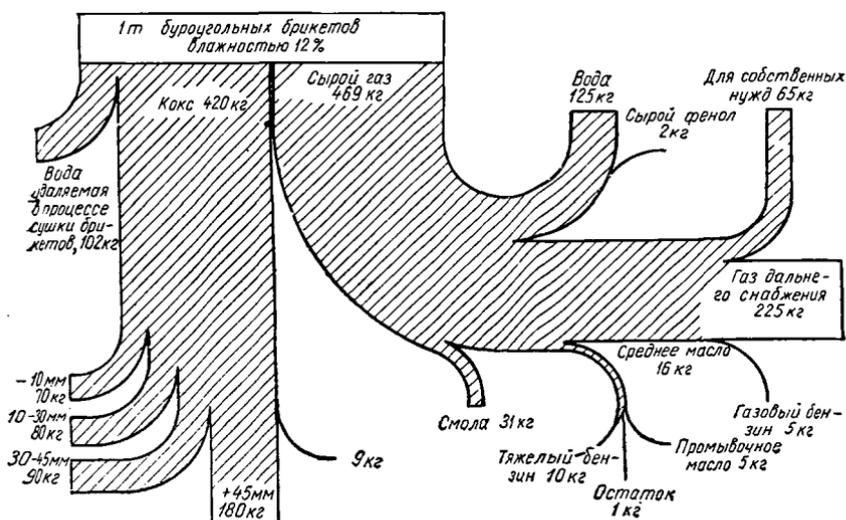


Рис. 37. Материальный баланс печи для коксования буроугольных брикетов

Из дымовой трубы часть газа может направляться вентилятором в камеру сушки или выбрасываться в атмосферу.

Одна камера коксования в сутки перерабатывает около 12,5 т брикетов. Из этого количества получается около 5 т кокса. Поскольку через каждые полтора часа производится выгрузка одной восьмой части объема камеры, брикеты в камере коксования находятся около 12 час., а в обеих камерах, включая камеру сушки, около 18,5—20 час.

Материальный баланс процесса коксования представлен на рис. 37.

Согласно тепловому балансу, к. п. д. процесса составляет 79,73%.

Описанная система печей имеет и ряд существенных недостатков. Основным из них является неравномерность распределения давлений. Давление у пода камеры коксования должно быть 0 мм вод. ст.; фактически же оно составляет —5, —7 мм вод. ст.,

а сверху камеры около нуля. Кроме того, через неплотности в кране-шибере подсасывается атмосферный воздух. Поэтому в коксовом газе иногда содержится до 13% азота. Таким образом, часть газа и кокса сгорает в камере. При обгорании еще недостаточно прококсовавшихся брикетов происходит их частичное разрушение; качество кокса от этого ухудшается.

Отопительный газ печей поступает в рекуператоры для подогрева. Давление газа на входе в рекуператор составляет около 40—50 мм вод. ст., в то время как дымовые газы в этом участке находятся под разрежением ~ 10 мм вод. ст. Как показало обследование, здесь происходит некоторое подсасывание газа и сгорание его. Поэтому температура дымового газа перед трубой достигает 600, а иногда и 700°. Высокая температура дымовых газов влечет за собой повышение температуры газа и в камере сушки; это также отражается на качестве сушки брикетов. Воздух, поступающий в рекуператоры, засасывается при разрежении 5—7 мм и более. На выходе из рекуператоров разрежение еще больше, и это в свою очередь создает возможность подсасывания газа в рекуператоры из камеры, несмотря на значительную толщину стенок между камерой коксования и рекуператорами [119].

Второй существенный недостаток печей — неравномерность нагрева брикетов по ширине камеры коксования. Первые блоки печей были построены с шириной камеры 350 мм. Камера такой ширины давала хорошо прококсовавшийся кокс у стенок и плохо — у оси камеры. Этот недостаток был частично устранен сужением камеры до 300 мм. При ремонте печей первой постройки все камеры переделаны на ширину в 300 мм.

Коксохимический завод в г. Лаухгаммере имеет 576 камер коксования, объединенных в 24 блока печей с общей производительностью свыше одного миллиона тонн кокса в год. Общая схема этого сложного и крупного предприятия представлена на рис. 38.

Выход жидких продуктов при коксовании брикетов составляет в среднем 5,8%, в том числе 3,4% смолы и 2,4% легкого масла. Смола сходна по составу с крекированной смолой полукоксования бурого угля. Путем переработки на гидрогенизационных установках она может быть превращена в моторное топливо.

Выход газа составляет около 300 м³ на тонну сырых брикетов. Он содержит более 30% балласта (18,3% CO₂ и 12,3% N₂). Высокое содержание CO₂ характерно для буроугольного газа, высокое содержание азота объясняется разрежением в подошве высоких камер коксования. Низшая теплота сгорания газа составляет 2850 ккал/м³.

Тушение кокса производится в тушильной камере, где через слой кокса продувается отходящий газ, который затем направляется в теплообменник. Тепло от тушения кокса используется

для выработки перегретого пара. Благодаря хорошо продуманному использованию тепла в процессе расход его составляет всего 400 ккал/кг брикета.

При сухом тушении полученный кокс охлаждается до 100—120°, при этом сохраняется механическая прочность кокса и повышается теплота сгорания его; однако одновременно с этим при сухом тушении образуется большое количество пыли. Для уменьшения пылеобразования буроугольный кокс погружают в ванну, заполненную эмульсией из отходов нефти или смолы. Через несколько секунд кокс покрывается тонкой пленкой эмульсии.

Брикеты при коксовании претерпевают объемную усадку, равную 50—53%. Потеря веса при этом составляет около 55%. Наибольший размер получаемого коксобрикета 80×52×40—48 мм при весе 110 г. Коксобрикет имеет зольность около 11%, содержит влаги менее 1%, серы менее 1,5%, выход летучих 2—3%. Теплота сгорания 7000—7200 ккал/кг.

Зола коксобрикетов имеет основной характер и содержит около 20% окиси кальция. Содержание в ней Fe_2O_3 составляет 32%, что соответствует 2,5% содержания железа в коксе. При температуре конца коксования 950° содержание углерода на горючую массу коксобрикетов достигает 99%. При изменении температуры окончания коксования в пределах от 900 до 1200° температура воспламенения коксобрикетов повышается от 340 до 440°. При хранении на открытом воздухе коксобрикеты поглощают влагу, но измельчаются не сильно. При хранении выход летучих повышается на 2—3% вследствие поглощения золой гидратационной влаги [229].

Ввиду того, что бурые угли не спекаются, крупность кокса определяется размером брикетов. В настоящее время на ленточных прессах получают буроугольные брикеты достаточной прочности при весе их не более 300 г. Поскольку в процессе коксования брикеты теряют до 50% исходного веса, полученные коксобрикеты имеют вес до 150 г.

Пористость буроугольного кокса 28—35%; большинство пор меньше микрона. Более тонкая, чем у каменноугольного кокса, структура пор создает большее сопротивление проникновению газов, отчего процесс сгорания замедляется.

Объемный вес буроугольного кокса составляет 615 кг/м³ (для наиболее крупных фракций), т. е. значительно больше, чем у каменноугольного кокса (500 кг/м³ и меньше). Коксобрикет обладает сопротивлением раздавливанию в 180—200 кг/см²; сопротивление истиранию, характеризуемое остатком на сите более 40 мм, составляет около 60%, т. е. невелико. Брикеты при их коксовании частично разрушаются: выход класса более 30 мм составляет 79% и класса 45 мм — только 58%.

Коксобрикеты по своим механическим качествам хуже метал-

лургического кокса и используются в низкошахтных доменных печах металлургического завода г. Кальбе в смеси с каменноугольным коксом.

Эти печи работают с добавкой буроугольного кокса до 22%; остальное топливо — кокс газовых заводов и кокс, доставляемый из Польши, Чехословакии, СССР и из г. Цвикау (ГДР).

В доменных печах металлургического комбината (печи объемом 600 м³) буроугольный кокс применяют периодически и в незначительном количестве. Небольшое количество буроугольного кокса потребляют доменный цех завода «Максхютте» и низкошахтная печь «Доннерверт».

Буроугольные коксобрикеты используются в цветной металлургии, химической, газовой и других отраслях промышленности. В немецкой металлургической промышленности для спекания порошковых руд используют также буроугольный кокс размером 3—0 мм.

Разнородность горючего вызывает избирательное сжигание его у фурм и постоянное изменение условий горения и работы горна. Вследствие различия в удельных весах горючих при прохождении через печь происходит расслоение шихты и концентрирование в определенных местах более тяжелого горючего.

Изучение микроструктуры буроугольного кокса, полученного Е. Раммлером с сотрудниками, показывает, что в этом коксе отдельные частицы не сплывались, а только спеклись друг с другом [233]. По мнению Рееринка, этот кокс может найти применение в электрохимической промышленности, особенно для производства карбида вследствие своей малой электропроводности.

Весьма насущным является улучшение механических свойств коксобрикета с тем, чтобы использовать его для плавки без добавок какого-либо другого горючего. В настоящее время одна из низкошахтных доменных печей уже работает на буроугольном коксе (без добавок другого горючего); правда, этот метод разработан Е. Раммлером и Г. Билькенротом применительно лишь к молодым землистым бурым углям с низкими зольностью, сернистостью и небольшим выходом смолы. Молодые бурые угли легко брикетируются без связующего и дают брикеты с удовлетворительной механической прочностью, которые при коксовании сохраняют свою форму и не крошатся. Однако данный метод нельзя перенести непосредственно для переработки более старых бурых углей с большим содержанием углерода, поскольку они плохо брикетируются.

В настоящее время в ГДР проводятся новые работы с целью получения буроугольного кокса более высокого качества [119].

Для новых опытов сооружаются печи, в которых отсутствуют указанные выше недостатки в режиме сушки брикетов и их коксования.

Новые коксовые печи по конструкции похожи на непрерывные печи системы Лурги. Эти печи выше существующих на 6 м (высота новых печей 36 м). В отличие от печей Лурги они имеют доп. лнительную зону (третью зону печи) высокотемпературного коксования. Всего печь имеет четыре зоны: сушки, полукоксования, коксования и охлаждения. В печи применен принцип не внешнего, а внутреннего обогрева. Общий вид такой печи приведен на рис. 39. Газ, поступающий для коксования и полукоксования, подогревается в кауперах (два на каждую печь).

В г. Зигмаере была построена опытная печь производительностью 20 т кокса в сутки. Эти печь показала хорошие результаты. Был получен газ коксования с теплотой сгорания до 4000—4200 кал/м³.

Весьма важным является вопрос о борьбе с пылеобразованием. Пыль понижает реакционную способность кокса, дает значительное количество пыли на колошнике и вызывает ряд других отрицательных явлений.

Фрайбергской Горной Академией предложено несколько способов борьбы с пылью, проходящих сейчас опытную проверку; одним из основных способов является обработка готового кокса различными эмульсиями. Предлагаются эмульсии, изготовленные из сульфидной целлюлозы, из каменноугольной и буроугольной смолы и асфальта, разбавленные на 80% водой. Положительных результатов эти эмульсии пока не дают. Обработанный эмульсией кокс становится более влажным, его и без того низкая реакционная способность еще более снижается.

По лабораторным показателям реакционная способность буроугольного кокса из брикетов выше, чем каменноугольного кокса, а точка воспламенения примерно на 100° ниже. В то же время в доменных печах он плохо горит и зачастую целыми кусками выносятся вместе со шлаком.

Таким образом, хотя основной вопрос — промышленное получение кокса из брикетов бурого угля — уже решен, но имеется еще ряд существенных, требующих разрешения вопросов.

На строящемся комбинате «Шварце Пумпе» кокс для металлургии и химии будет производиться по способу, применяемому на заводе в Лаухгаммере. Комбинат будет расходовать ежегодно 19,8 млн. т бурого угля для брикетирования. Конечная годовая продукция комбината: 2,5 млн. т кокса, 3300 млн. м³ бытового газа дальнего газоснабжения, 380 тыс. т смолы и 1380 млн. квт-ч электроэнергии, отпускаемой в сеть. Крупные масштабы производства потребуют установки наиболее производительного оборудования, например трубчатых сушилок с поверхностью нагрева 4040 м² производительностью 25 т подсушенного бурого угля в час, штемпельных брикетных прессов производительностью 17 т/час [150].

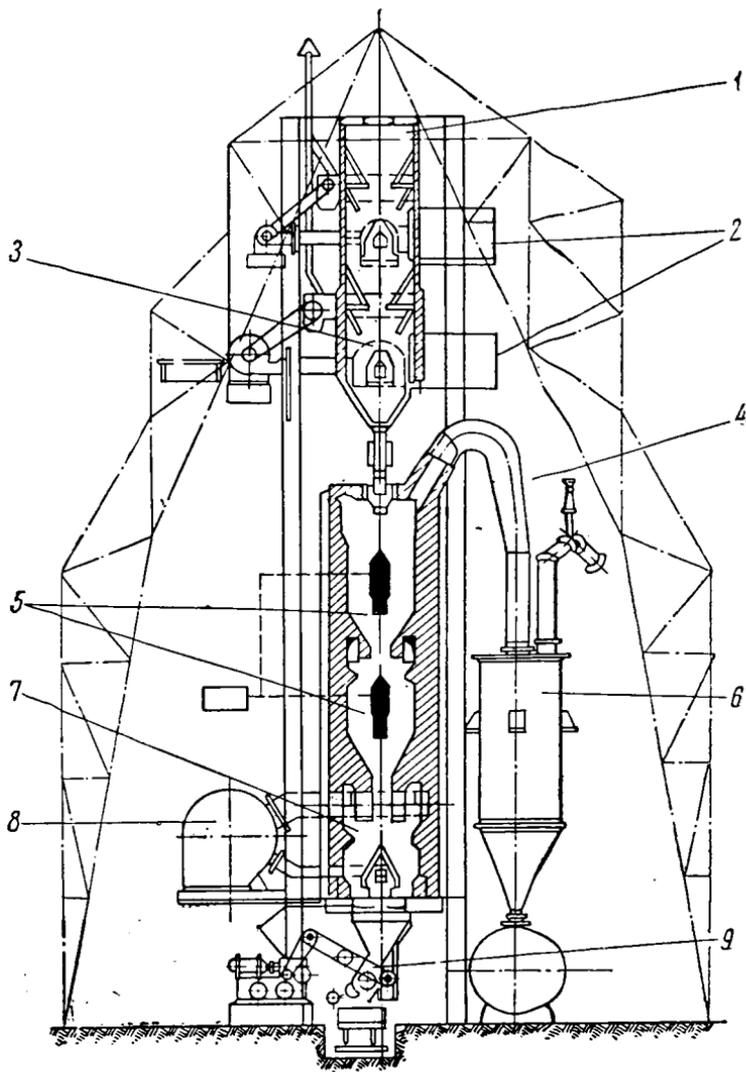


Рис. 39. Коксовая печь с внутренним обогревом:

1 — бункер для брикетов; 2 — камеры сжигания; 3 — зона сушки брикетов; 4 — отвод продуктов пиролиза; 5 — зоны коксования; 6 — предварительное охлаждение газа; 7 — зона охлаждения кокса; 8 — теплообменник; 9 — транспортер кокса

Раммлером и Билькенротом [228] были также разработаны и другие варианты предложенного ими метода. Так, например, коксованию могут быть подвергнуты брикеты, полученные не в штемпельных, а в вальцовых прессах, что приводит к существенному возрастанию механической прочности брикетоккокса. Однако при этом требуется переконструировать вальцовые прессы с тем, чтобы вес брикета мог быть утроен по сравнению с существующим (150—170 г).

В качестве другого варианта предлагается предварительное экстрагирование битумов перед брикетированием бурых углей, дающих большой выход восков и смолы. Как показали опыты, при этом наблюдается не только ухудшение, но даже улучшение брикетиреуемости.

Развернутые исследования по производству коксобрикетов проводятся в Венгрии, основную часть угольных запасов которой составляют малометаморфизованные бурые угли [219].

Сравнительные опыты в камерах непрерывного и периодического действия показали, что выход неповрежденных брикетов составляет соответственно 19 и 83,6%; поэтому дальнейшие опыты проводили только в камерах периодического действия.

В 1951 г. в г. Печ был пущен блок, состоящий из 7 вертикальных камер периодического действия системы Дидье. Камеры размером $5801 \times 2684 \times (260-360)$ мм отапливаются генераторным газом. Тушение кокса осуществлялось во вращающихся барабанах диаметром 2 и длиной 6 м. В дальнейших опытах тушение проводилось в специальных ящиках.

Обогащенный до зольности 10—13% уголь подсушивали в сушилках Флейснера до влажности 10%; выход сухого кокса в пересчете на влажный уголь составил 50—54%. Таким способом было изготовлено 1200 т кокса для использования в металлургии и 100 т для других опытов.

Опыты коксования обогащенного подсушенного бурого угля показали очень значительную усадку коксового пирога — к концу периода коксования оголялась почти половина поверхности стен камер. В связи с этим было предложено примерно на $\frac{1}{5}$ периода коксования догружать камеры углем или брикетами.

Вследствие усадки угля в начале коксования насыпной вес загрузки повышается с 740—760 до 810—840 кг/м³. В начальный период коксование идет в основном у стенок камеры, загрузка здесь становится более рыхлой, продукты коксования проходят вдоль стенок в подсводовое пространство камеры и подвергаются глубокому крекингу. Выход смолы составляет только 1%, но, несмотря на такой глубокий крекинг, легкое масло содержало лишь 20% ароматических соединений. По-видимому, при высокотемпе-

ратурном коксовании бурых углей степень ароматизации смолы незначительна. Средняя продолжительность коксования составляла 14 час.; процесс ведется до выхода летучих из кокса 6%.

Опыты с догрузкой камеры проводились следующим путем. Сначала в камеру загружали 300 кг кокса (коксовая подушка) и 2300—2400 кг подсушенного угля. После пяти часов коксования камеру догружали 500 кг буроугольного кокса в виде коксовой подушки и 1200—1500 кг брикетов. Время полного коксования равнялось 17—18 час., а считая на брикеты 12—13 час. (выход летучих из коксобрикетов — 3%).

Опыты по коксованию брикетов в отдельных камерах показали, что при загрузке камеры в два приема (вторая загрузка через 2 часа с использованием для коксовой подушки коксовой мелочи) брикеты удовлетворительно коксовались за 14 час. Качество брикетов, изготовленных на каменноугольной смоле, превосходило качество брикетов на смоле из лигнита. Качество последней улучшали примешиванием соответствующего количества спекающегося угля.

Средний технический анализ (%) полученных брикетов: влажность 2,8—4,1; зольность 17,8—19,4; выход летучих 2,7—3,1; обшая сера 2,0—2,2.

При промышленных опытах в доменных печах применяли шихту, состоящую из 85% металлургического кокса и 15% коксового брикета. Несмотря на удовлетворительную механическую прочность коксобрикетов (при определении истираемости 79—84% кусков размером более 40 мм) на уровне фурмы они сильно крошились, что приводило к образованию настывей в верхней части домы. Результаты опытных доменных плавок нельзя считать достаточно удовлетворительными.

Вслед за этим для более детального изучения процесса коксования буроугольных брикетов была выделена одна из камер, которая оборудована индивидуальной конденсационной системой. При опытах в этой печи удалось значительно снизить период коксования путем продувки газом, который подавали после прекращения бурного выделения газов из шихты. Опыты выявили целесообразность загрузки камеры в три стадии (с интервалом в 1 час. При температуре в вертикалах 1200—1250°, трехстадийной загрузке и применении продувочного газа период коксования составил 8 час., считая на полную загрузку, и 5 час., считая на последнюю догрузку.

Кроме того, в этой же камере проводили опыты по коксованию «со ступенчатой дозировкой». Из заполненной камеры разгрузочным устройством удаляют кокс в таком количестве, чтобы верхняя часть камеры освободилась на высоту 1,2—1,5 м. Это пространство заполняется свежими брикетами. Приблизительно через 1 час операцию «выгрузки-загрузки» повторяют.

В настоящее время в г. Печ построена новая опытная установка для дальнейшей разработки технологии использования бурых углей в металлургии.

Всесоюзным научно-исследовательским институтом углеобогащения в 1953—1954 гг. были получены коксобрикеты из старых и молодых бурых углей (дальневосточных, среднеазиатских, башкирских) в результате обработки их методом, сходным с технологическим процессом в Лаухгаммере [83]. Характеристика указанных углей приведена в табл. 14.

Таблица 14
ТЕХНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ БУРЫХ УГЛЕЙ. %

Уголь	Влага	Зола	Выход летучих веществ
Среднеазиатский . .	27,2	15,91	31,4
Дальневосточный . .	37,0	9,50	40,0
Башкирский	53,25	22,59	43,6

Угли подвергались сушке до содержания влаги в 8%, затем брикетировались (при крупности 0—0,9 или 0—1 мм и давлении прессования 1000—2000 кг/см²), подвергались осторожной сушке и коксовались; при этом осуществлялся медленный нагрев до 350—500°, а затем быстрый нагрев до 900—1000°. Механические свойства коксобрикетов оказались пониженными, но, по-видимому, достаточными для удовлетворения требований плавки в низкосахтных доменных печах.

При коксовании брикета, полученного из бурых углей (Райчихинский, Ирша-Бородинский, Осиновский) при давлении 1500—2000 кг/см², Московский горный институт добился удовлетворительных результатов [61, 131]. В этих работах воспроизводилась технология коксования бурых углей, разработанная в ГДР.

В Чехословакии проведено исследование бурых углей разных месторождений, при котором выяснено влияние фракционного состава угля, влажности, режима коксования, присадки некоксуемых каменных углей на качество коксобрикета. Из углей бассейнов Мост, Кладно и Соколов только последние дали удовлетворительные результаты [250].

Группа работников Мельбурнского университета [136] разрабатывает новый метод получения металлургического топлива из буроугольных брикетов, основанный на коксовании их с контролируемой переменной скоростью. На протяжении периода сушки

(0—200°) температура поднимается со скоростью 40 град/час, от 200 до 600° со скоростью 100 град/мин и от 600 до 800° — с максимально возможной скоростью.

Исследовательские работы, направленные на получение металлургического топлива путем коксования брикетов из австралийских бурых углей, проводятся с 1952 г. После получения обнадеживающих результатов в лабораторном масштабе в 1955 г. была построена опытная печь объемом 1000 кг для коксования брикетов, которые далее испытывались в вагранке [266]. В этой печи с внутренним обогревом при периоде коксования в 24 час. и более были получены прочные коксобрикеты размером в 50 и даже 65 мм. Растрескивания брикетов при коксовании не наблюдалось.

Характеристика исходного угля, брикетов и коксобрикетов приводится в табл. 15.

Таблица 15
ТЕХНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ИСХОДНОГО УГЛЯ, БРИКЕТОВ И КОКСОБРИКЕТОВ, %

Материал	Влага	Зола	Летучие вещества	Связанный углерод	Сера общая
Исходный уголь	66,0	0,7	16,8	16,5	0,09
Брикеты	15,0	1,6	42,2	41,2	0,3
Коксобрикеты	—	4,0	2,0	94,0	0,24

Полученные успешные результаты следует также приписать хорошей брикетуемости исходного малометаморфизованного угля.

В ходе исследований, проведенных в 1956—1957 гг., особое внимание уделялось процессам сушки и коксования брикетов. Полученные результаты позволили построить теоретическую кривую, исходя из постоянной усадки брикетов при нагревании. Эта кривая (рис. 40) характеризуется медленным подъемом температуры при полукоксовании с последующим быстрым подъемом температуры до 900°. На этом же графике для сравнения показана кривая подъема температур на установке в Лаухгаммере (ГДР).

Опыты с индийскими бурыми углями также подтвердили, что брикеты лучше противостоят термической обработке, если их нагревать до 850° с контролируемой скоростью [190].

Предварительные технические условия на кокс из бурых углей, получаемых при лабораторных исследованиях, разработаны Институтом металлургии АН СССР. Оценка буроугольного кокса по этим техническим условиям производится для определения

пригодности его к доменной плавке. Проба кокса из бурых углей должна сравниваться с пробой металлургического кокса из углей Донецкого бассейна путем обработки их в лабораторном барабане, причем остаток в барабане должен составлять не менее 85% от остатка пробы каменноугольного кокса. Исходя из этого,

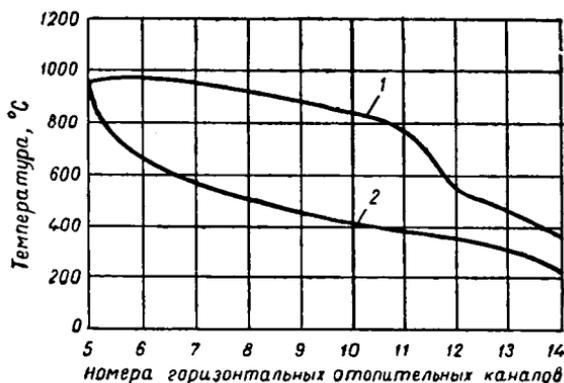


Рис. 40. Распределение температур по высоте камеры коксования:

1 — фактическое распределение температур на установке в Лаухгаммере; 2 — теоретически желательное распределение температур

остаток буроугольного кокса в барабане должен быть не менее 82% по отношению к загруженному. По тем же техническим условиям, при четырехкратном сбрасывании пробы коксобрикетов с высоты 1900 мм, количество класса ниже 10 мм должно быть не больше 20%. Пористость кокса должна быть не менее 30%.

Огнестойкость проверяется путем сжигания образцов кокса в течение часа и последующего испытания охлажденной пробы на истирание. Остаток в барабане при этом должен быть не меньше, чем для пробы, не подвергшейся сжиганию. Термостойкость проверяется путем нагрева образцов кокса до 2000° и последующего испытания в барабане.

2. СМЕШЕНИЕ СО СВЯЗУЮЩИМ, БРИКЕТИРОВАНИЕ, КОКСОВАНИЕ

Брикетиrowание со связующими веществами применяется практически только для каменных углей. Этот процесс получил распространение в Англии еще в сороковых годах прошлого столетия для брикетирования некоксующей угольной мелочи с целью ее энергетического использования.

Исследования по брикетированию углей со связующим для получения металлургического топлива были начаты в различных странах в 1935—1940 гг. В качестве сырья для брикетирования

использовали, с одной стороны, газовые и длиннопламенные угли, а с другой, — тощие угли и антрациты. Исследования показали, что при разной механической прочности получаемых брикетов расход связующих минимален для тощих углей и максимален для метаморфизованных углей. Для антрацитов эта величина имеет промежуточное значение. По-видимому, различный расход связующего следует объяснить различной внутренней поверхностью брикетируемых углей. Наиболее распространенными связующими являются каменноугольный пек и нефтяной битум, добавляемые в количестве 6—9% от угля. Эти два материала наиболее полно отвечают требованиям, предъявляемым к связующим для брикетирования угля.

При применении обычного каменноугольного пека с точкой размягчения 65—75°, который используется в качестве связующего при брикетировании каменных углей, довольно надежным показателем свойств связующего для получения коксобрикетов является высота остатка при коксовании в тигле. Чем больше остаток связующего после коксования, тем выше прочность коксобрикетов. Однако большое количество тигельного кокса не должно сопровождаться высокой точкой размягчения связующего.

Нужно отметить, что использование связующих, подготовленных на базе нефти или каменноугольной смолы, увеличивает выход смолы и бензола, повышает содержание непредельных углеводородов в газе и т. д.

Связующее в процессе образования коксобрикетов может играть двойную роль: создавать пекококсовый каркас, цементирующий зерна угля, или, вступая во взаимодействие с углем, растворять поверхность зерен и образовывать дисперсные пленки, способствующие слиянию угольных зерен в монолит.

Качество связующего в большой степени определяется методом его предварительной подготовки. Так, например, смола полукоксования после разгонки обеспечивает меньшую прочность коксобрикетов. Это объясняется наличием в ней большого количества асфальтенов и отсутствием легких фракций, удаленных разгонкой. При окислении тяжелой смолы в ее составе при избытке асфальтенов имеются в достаточном количестве фракции, которые способствуют растворению угля и слиянию отдельных зерен [131]. Можно полагать, что большее приближение к теоретической кривой подъема температуры позволило бы на установке в Лаухгаммере значительно снизить количество растрескивающихся коксобрикетов.

По-видимому, метод внешнего обогрева мало применим на стадии полукоксования брикетов, поскольку для передачи нужного количества тепла в единицу времени он требует создания значительных градиентов температуры. На стадии коксования

применим как внешний, так и внутренний обогрев, однако применение внутреннего обогрева ограничивается температурой 850°, выше которой резко увеличивается химическое взаимодействие между коксобрикетами и кислородсодержащими компонентами рециркулирующего газа.

В 1958 г. в Моурвеле (Австралия) была построена полупромышленная установка для коксования буроугольных брикетов. Установка представляла модификацию обычной реторты Лурги, причем зона сушки была выполнена в четыре раза глубже, а зона коксования на 50% глубже, чем в обычной реторте. Однако результаты работы реторты в 1959 г. показали, что этих мероприятий даже при уменьшении производительности установки оказалось недостаточно для того, чтобы получаемые коксобрикететы были совершенно удовлетворительного качества. Полученные кривые скорости нагрева в этой установке имели тот же характер, что и на заводе в Лаухгаммере, принципиально отличаясь от теоретической кривой (см. рис. 40). На основании этих данных Кенеди [267] приходит к выводу о невозможности совмещения в одном аппарате зон полукоксования и коксования, поскольку условия нагрева в этих зонах резко отличаются друг от друга. В настоящее время в штате Виктория разрабатывается новая конструкция печи для коксования брикетов.

По данным Рееринка [233], в ФРГ для производства коксобрикетов с успехом применяется специальное связующее: пек с добавкой определенной комбинации циклических соединений, называемых TPS (Teerpechschmelze). Это связующее характеризуется меньшей вязкостью и лучшей смачивающей способностью, чем обычный пек. При помощи TPS можно брикетировать уголь с повышенной влажностью, отпадает необходимость в предварительной сушке; расход связующего уменьшается на 25—35%. На одной установке TPS расплываются в жидком виде при температуре 145—150°.

Хамильтон и Вольф [183] описывают процесс предварительного брикетирования плохо спекающихся углей перед коксованием. Уголь предварительно измельчается до 80% класса <2 мм, смешивается с добавкой и брикетуется в вальцовом прессе. Далее брикеты подвергают полукоксанию в печах трех типов: вертикальных печах с внутренним обогревом, камерных и печах с подовым обогревом. Наилучшие результаты были получены в печах с подовым обогревом.

Джилмор, Райт и Кини [175] брикетировали антрацитовую мелочь с каменноугольным пеком и исследовали влияние различных факторов на прочность получаемых коксобрикетов. При увеличении количества добавляемого пека прочность на раздавливание повышается до максимума, положение которого определяется свободными промежутками в брикете (за свободные

промежутки принимается объем брикета за вычетом суммы объемов угля и пека). Оптимальная добавка пека составляла 15% от антрацита. Увеличение давления прессования повышает прочность коксобрикетов. Однако при повышении давления сверх оптимального (156 кг/см^2), которое необходимо для равномерного распределения пека по угольной поверхности, прочность коксобрикетов начинает уменьшаться. В исследованном интервале температур коксования до 1050° прочность коксобрикетов линейно возрастает с температурой. Предварительная термообработка антрацита во всех случаях улучшает прочность коксобрикетов. Существенную роль играет количество связующего, которое брикеты теряют в процессе коксования. Лучшими оказываются те связующие, которые дают при коксовании максимальную усадку и способствуют увеличению плотности коксобрикетов.

Также можно брикетировать смесь антрацита с 10% пека или нефтяных остатков и 10% коксующегося угля и полученные брикеты коксовать при температуре 1200° в вертикальной камерной печи с комбинированным внутренним и внешним обогревом (вариант метода Баумко). Для многозольных антрацитов рекомендуется предварительное измельчение до класса ниже 1 мм и обогащение по методу Конвертоль со снижением зольности, например с 25 до 12%. Затем к смоченному маслом обогащенному антрациту добавляют пек и смесь брикетируют. Жидкие углеводороды, получаемые при последующем коксовании брикетов, возвращают в цикл и используют для покрытия потребности в пеке для брикетирования и в масле для обогащения по методу Конвертоль,

В табл. 16 представлена сводка результатов опытов по брикетированию и коксованию каменных углей Юта (США).

Способ «Коллектива Клейн» (ГДР) предусматривает производство коксобрикетов со связующими веществами. По этому методу смесь, состоящую из неспекающегося каменного угля ($2/3$), бурого угля ($1/3$) и связующего вещества, прессуют в брикеты, которые коксуются при 1200° . Столь высокую конечную температуру коксования выбрали, предполагая, что произойдет спекание минеральных составных частей и укрепление структуры кокса. Однако это на практике не произошло. Кроме того, оказалось, что находящийся в буром угле битум обладает слишком низкой температурой кипения, так что он под влиянием нагрева испаряется, не содействуя укреплению коксового скелета.

Способ Раммлера отличается от способа «Коллектива Клейн» тем, что брикеты изготавливаются без примеси каменного угля.

Сушеный бурый уголь подвергают дополнительному измельчению до хрупкости 0—3 мм, затем смешивают со связующим

Таблица 16
ПРОЧНОСТЬ КОКСОБРИКЕТОВ ИЗ КАМЕННЫХ УГЛЕЙ ЮТА

Тип печи	Уголь	Связующее	Температура коксования °С	Индекс сбрасывания % 37 мм
Реторта Камерная печь с подовым обогревом	Каслгэйт	Смола	600	13
	»	Пек	590	58
	»	»	715	52
	»	»	845	46
	»	»	900	43
	Женева	»	560	46
»	»	935	46	
Электрическая печь	Каслгэйт	Пек	600	85
	»	»	800	78
	»	Смола	800	81
	Женева	Пек	600	91
	»	»	1000	90
	»	Смола	1000	84
Электрическая печь	Женева	Органическое связующее «Кэрбэй»	1000	89
Горизонтальная камерная печь	Женева	Пек	—	54

веществом и брикетируют (рис. 41). Коксование осуществляется при 1200° путем внутреннего обогрева. Расходы связующего по этому методу значительны. Из многих исследованных связующих веществ пригодными оказались лишь «Орга-S-3» и кислые смолы, получаемые при переработке нефти. Но эти вещества содержат много серы, вследствие чего количество серы в коксе оказывается слишком высоким.

Шмидт, Ханке в сотрудничестве с Фрайбергской горной академией [242] получали брикеты из польских и саксонских газовых углей с различными связующими с добавками и подвергали их коксованию в вертикальной камерной печи. В качестве связующих использовались буроугольная смола и два вида нефтяного битума. Они установили, что максимальная прочность коксобрикетов соответствует 8% добавки битума, в то время, как оптимальная добавка смолы составляет 12—14%. При добавлении 10% смеси обонх связующих и изменения их соотношения в смеси качество коксобрикетов улучшается с увеличением относительного содержания битума в смеси. Следует

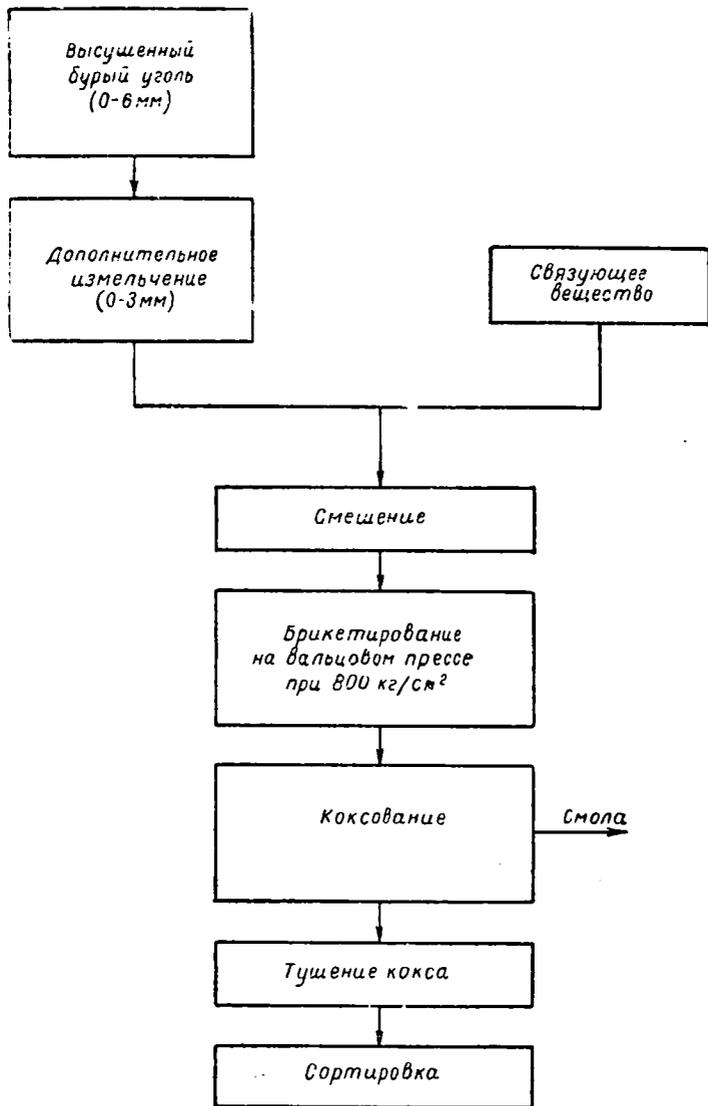


Рис. 41. Схема получения буроугольного кокса по методу Раммлера — «Коллектив Клейн»

отметить, что максимальная прочность брикетов и максимальная барабанная прочность коксобрикетов соответствуют различным количествам добавляемого связующего.

На опытной установке в Мариенó (Франция) проведена работа по брикетированию смеси 80% неспекающегося длиннопламенного угля и 20% плохоспекающегося угля с 8—10% пека. Эти брикеты в дальнейшем подвергались коксованию в печи ВТ с шахтой для прокалки (см. рис. 1). После двух часов полукоксования брикеты настолько упрочнились, что их можно было выдавать в шихту прокаливания, где процесс протекал путем рециркуляции газов при 700—800° и заканчивался при доведении выхода летучих из коксобрикетов до 2—3%.

Для получения металлургического топлива из углей Иркутского бассейна без участия дальнепривозных Е. М. Тайц и В. З. Анненкова [104] коксовали брикеты, приготовленные из смеси углей черемховских, владимирских и забитуйских с примесью 15% полукокса из черемховских углей и с добавкой связующего.

Из брикетов, приготовленных прессованием под давлением до 500 кг/см², был получен прочный кокс, качество которого при добавке от 2 до 6% смеси пека со смолой из черемховских углей, обработанной воздухом, при нагреве до 150—170° еще более улучшалось. Коксобрикеты ($d = 70$ мм) отличались достаточной пористостью, были лишены трещин и превосходили по прочности обычный металлургических кокс.

В Московском горном институте, Институте горючих ископаемых АН СССР и Восточно-Сибирском филиале СО АН СССР были проведены работы по коксованию брикетов, полученных из разных неспекающихся и слабоспекающихся газовых углей и из шихт газовых и длиннопламенных углей [131]. Брикетирование производилось на основе пека, нефтяного битума и сульфитного шелока.

В лабораторных условиях таким путем были получены удовлетворительные по прочности коксобрикеты из газовых углей Кузнецкого, Минусинского и Иркутского бассейнов. Измельченный уголь (0—3 мм) в смеси со связующими брикетировали при давлении 200 кг/см², затем брикеты диаметром 45—65 мм, обычно пересыпанные измельченным коксом, коксовали в лабораторных условиях. Прочность коксобрикетов испытывали путем определения сопротивления сжатию, изгибу, истиранию и дроблению. Кроме того, коксобрикеты подвергали испытаниям на термомеханическую устойчивость.

В табл. 17 приводятся данные, характеризующие прочность коксобрикетов, полученных из смеси кузнецких углей марок Г и Д. Эти данные показывают, что из исследуемых углей при ис-

пользовании в качестве связующего 5% нефтяного битума получают прочные коксобрикеты.

Таблица 17

ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОЧНОСТИ БРИКЕТОВ

Компоненты	Состав смеси %	Прочность коксобрикетов при давлении прессования			
		200 кг/см ²		400 кг/см ²	
		$R_{изг}$ кг/см ²	$R_{ист}$ через 15 мин. %	$R_{изг}$ кг/см ²	$R_{ист}$ через 15 мин. %
Уголь шахты им. Кирова	50	35,8	94,8	38,1	96,8
То же, «Полысаевская 1»	45				
Битум № 4	5				
Уголь шахты им. Кирова	50				
То же, «Грамотейнская»	35	34,6	94,0	—	—
То же, «Полысаевская 1»	10				
Битум № 4	5				
Уголь шахты им. Кирова	70				
Уголь Изыхского месторождения	25	37,0	94,0	38,2	95,6
Битум № 4	5				
Уголь шахты «Пионерка»	60	31,0	92,5	36,2	94,8
То же, «Грамотейнская»	35				
Битум № 4	5				

Для коксования брикетов, не подвергавшихся размягчению при нагреве (размягчение происходит с брикетами на битумной и пековой основе), т. е. брикета, полученного при давлении 1500—2000 кг/см² или на сульфитном связующем, могут быть применены непрерывнодействующие печи как с внешним нагревом, так и с нагревом газообразным теплоносителем.

Брикеты, изготовленные на битуминозном связующем, могут быть скокованы в тех же печах, о которых сказано выше, или в других агрегатах. Однако технология коксования будет несколько иная.

В связи с тем, что брикеты, изготовленные на битуминозном связующем, размягчаются при температурах около 100—150° и они не смогут сохранить свою форму при обычной технологии коксования, В. И. Жунко, Б. М. Равич и Е. М. Тайц разработали и проверили в лабораторных условиях специальную технологию коксования, заключающуюся в том, что сырые брикеты должны поступать в печь будучи перемешаны с 40—45% инерт-

ной добавкой (коксовая мелочь, песок и др). Инертная добавка должна предохранить брикет от разрушения, что и подтвердили лабораторные опыты.

В дальнейшем были проведены ящичное коксование брикетов из шихты, составленной из кузнецких углей марок Г и Д (шахты «Пионерка», «Польсаевская I», и «Грамотеинская»); в качестве связующего был использован нефтяной битум № 4 в количестве 5%. Испытание коксобрикетов в микум-барабане дало удовлетворительные результаты: показатель М-40 оказался равным 74,5%, М-10 — 4%.

Большой интерес представляет исследование возможности получения кокса из углей Минусинского бассейна. Угли наиболее крупных месторождений бассейнов — Изыхского, Бейского и Черногорского — относятся к типу газовых и длиннопламенных и характеризуются небольшой толщиной пластического слоя.

Наиболее прочные коксобрикеты были получены из этих углей в смеси с 20—30% газового угля Кузнецкого бассейна шахты им. Кирова при использовании в качестве связующего сульфит-спиртовой барды.

В последнее время А. А. Агроскин, И. А. Андреева и Б. М. Равич изучали процесс получения коксобрикетов из газового угля Саяно-Партизанского месторождения [276]. Исследованная проба Алдаракского пласта характеризуется следующими данными: влага — 4,62%, зола — 5,85%, выход летучих веществ на горючую массу — 45,2%; толщина пластического слоя — 14 мм. Уголь подвергался исследованию как в самостоятельном виде, так и в смеси с собственным полукоксом и с пылью магнетитовой руды. В качестве связующего использовались сульфит-спиртовая барда и нефтебитум. Механическая прочность полученных коксобрикетов испытывалась в лабораторном барабане и по копровому методу.

В процессе исследований выявлялось влияние различных факторов на качество коксобрикетов (гранулометрия, количество связующего и т. д.). Основными показателями качества коксобрикетов служили барабанная проба и «индекс прочности». Для сопоставления результатов по определению качества коксобрикетов в аналогичных условиях испытывалась и средняя проба каменноугольного кокса с Расторгуевского коксогазового завода.

Результаты испытаний некоторых партий коксобрикетов приведены в табл. 18.

На основании предварительных исследований по коксованию Саяно-Партизанского угля можно сделать следующие выводы.

Лучшие результаты по механической прочности получаются при использовании в качестве связующего жидкого и твердого

Таблица 18

ХАРАКТЕРИСТИКА МЕХАНИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ КОКСА
ИЗ САЯНО-ПАРТИЗАНСКОГО УГЛЯ

Связующее	Количество связующего %	Истирание в барабане*, %		Истирание в копре		
		5 мин.	15 мин.	<i>p, и</i> **	индекс прочности П	
Кокс из Саяно-Партизанского угля						
Твердая барда	2	97,4	95,4	88,5/6	21,55	
» »	4	98,5	96,5	86/8	—	
» »	5	98,2	96,7	84/9	17,09	
» »	6	96,5	94,5	—	—	
» »	8	97,3	94,6	86/7	15,92	
Нефтебитум	{	4	93,2	89,8	69,5/17,5	10,2
		6	94,4	90,4	70,5/17,5	9,4
		8	96,4	93,5	—	—
Кокс Московского коксогазового завода						
—	—	—	94—97	—	10—12	

* Выход (%) класса + 10 мм из загрузки в 5 коксобрикетов при вращении барабана со скоростью 20 об/мин.

** *p* — выход (%) класса + 3 мм; *и* — выход (%) класса — 0,5 мм; исходная проба в виде класса — 13+10 мм.

концентратов сульфит-спиртовой барды в количестве примерно 4%.

Использование в шихте небольших количеств отошающей присадки (магнетитовая руда, полукокс) способствует получению менее трещиноватых и более прочных коксобрикетов. Повышенные количества отошающей присадки (свыше 15%) ухудшают механические качества коксобрикетов.

Процесс NFC [221]

Процесс этот является результатом исследовательских работ, проводимых с 1936 г. Национальной топливной корпорацией (Нью-Йорк). Были построены две опытные установки. Одна из них укрупненно-лабораторного масштаба в Нью-Хевене и другая — полупромышленного масштаба в Бетлехеме. Процесс NFC в общих чертах сводится к тому, что спекаемость используемых углей унифицируется путем искусственного окисления их до определенного уровня, после чего уголь брикетируется со

связующим и коксуется в точно регулируемых условиях. Судя по литературным данным, этот процесс позволяет использовать весьма широкую гамму углей.

Процесс имеет следующие стадии:

- 1) сушка угля до влажности менее одного процента;
- 2) измельчение угля до 100% класса ниже 0,8 мм и не менее 90% класса ниже 0,5 мм;

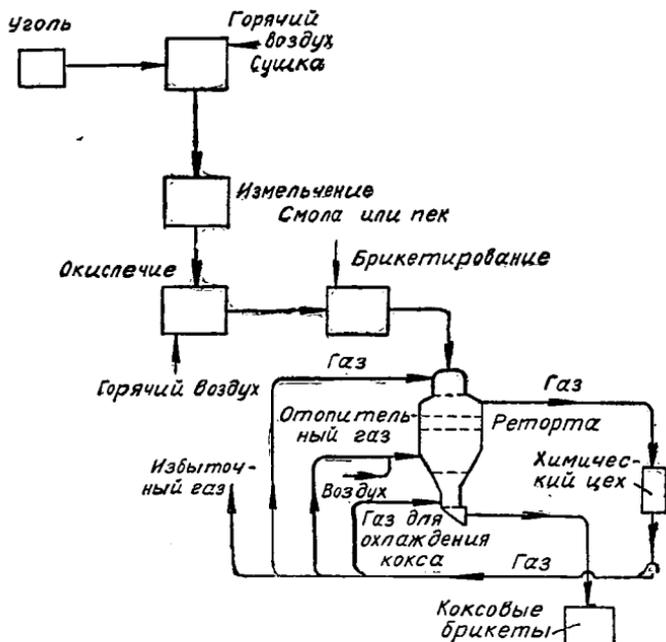


Рис. 42. Технологическая схема процесса Национальной топливной корпорации

3) окисление угля (в случае необходимости) для уменьшения спекаемости его до заданной величины;

4) брикетирование угля со смолой или пеком;

5) коксование брикетов в вертикальной реторте непрерывного действия с внутренним обогревом, включающей установку сухого тушения кокса.

Графически эти стадии показаны на рис. 42.

Сушка угля производится по двум соображениям: во-первых, наличие водяного пара замедляет процесс дальнейшего окисления углей; во-вторых, для получения механически прочных бри-

кетов нужно, чтобы содержание влаги в смеси угля со связующим было небольшим и постоянным.

Необходимость тонкого измельчения вызвана следующими обстоятельствами:

а) с увеличением удельной поверхности частиц окисление угля ускоряется; неоднородность ситового состава приводит к разной степени окисления частиц угля;

б) при недостаточно тонком измельчении угля брикеты имеют неровную, легко истирающуюся поверхность;

в) тонкое измельчение обеспечивает полное смешение всех составляющих угля и обеспечивает однородное сырье для последующего брикетирования и коксования;

г) брикеты из тонкоизмельченного угля могут быть с достаточной скоростью нагреваемы в опасном температурном интервале от 350 до 500°, что, по-видимому, объясняется равномерным предварительным окислением угля.

Окисление необходимо для того, чтобы привести коксуюемость любого угля к оптимальному постоянному значению. Во время полукоксования в реторте брикеты нагреваются со скоростью от 2 до 3 град/мин в критическом интервале температур. Если уголь предварительно не был достаточно окислен, то в этом интервале частицы будут вспучиваться, что приведет к деформации брикетов и слипанию их друг с другом. В случае переокисленного угля брикеты будут недостаточно спекаться и механическая прочность их понизится.

Так как брикетирование протекает под высоким давлением, угольные частицы располагаются так близко друг от друга, что остаточной коксуюемости после окисления достаточно для получения продукта с большой механической прочностью. Связующее не должно обладать коксующими свойствами или растворять уголь на любой стадии полукоксования.

Уголь перед брикетированием охлаждается до 65° или ниже и смешивается со связующим (сульфитный щелок, каменноугольная смола, пек) в отношении 92:8 (на сухую массу). Влага сырых брикетов должна составлять около 4%.

Характер скорости нагрева и контроль его являются весьма важными факторами. Линейное распределение температуры по высоте реторты осуществляется путем регулирования количества газа-теплоносителя. Принимая, что при оптимальной скорости нагрева температура в 500° создается на горизонте, лежащем на 1,8 м ниже верха реторты, следует иметь в виду, что при перемещении этой температуры на более высокие уровни брикеты будут нагреваться скорее и это вызовет их вспучивание. Наоборот, если область температур в 500° переместится в нижние части реторты, скорость подъема температуры снизится, и слой брикетов, находящихся вверху над брикетами в критиче-

ском интервале (350—500°) может вызвать деформацию последних.

Нафталин в этом процессе не образуется, количество бензола в газе незначительно и улавливание его нецелесообразно. Для переработки смолы и аммиачной воды используются общепринятые в коксохимии схемы.

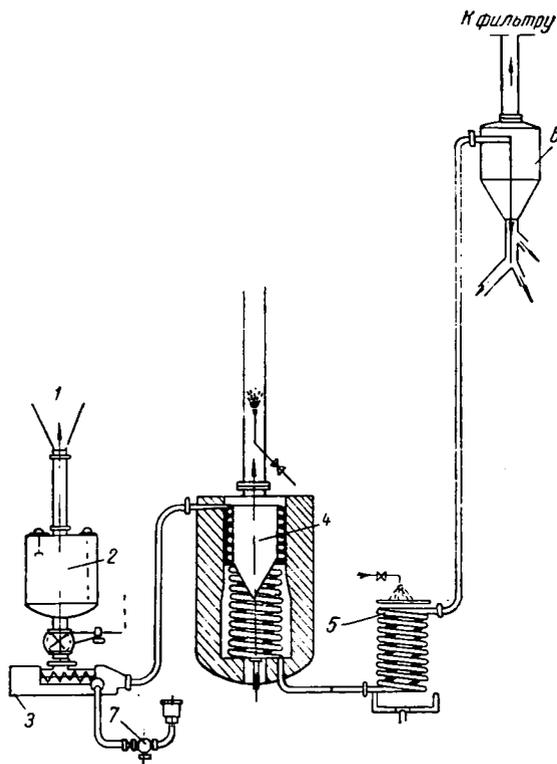


Рис. 43. Установка для окисления:

1 — циклон; 2 — бункер; 3 — насос Фуллера; 4 — окислитель; 5 — холодильник; 6 — циклон; 7 — компрессор

Установка для окисления угля показана на рис. 43. Уголь размером 0—0,5 мм поступает из установки для измельчения через циклон 1 в бункер 2. После питателя уголь переходит во взвешенное состояние под действием воздуха, подаваемого от компрессора 7. Далее углевоздушная смесь поступает в окислитель 4, состоящий из змеевика диаметром 100 мм, находящегося в нагревательной печи с регулируемой температурой. Затем, пройдя холодильник 5, углевоздушная смесь поступает в цик-

лон 6, из которого уголь направляется непосредственно в брикетную установку, а воздух через фильтр выпускается в атмосферу. Окисление угля осуществляется при температуре от 300 до 475°. Время реагирования составляет лишь 2—3 сек., благодаря чему змеевик совершенно не забивается. Быстрое охлаждение угля в холодильнике необходимо, чтобы предотвратить дальнейшее окисление его .

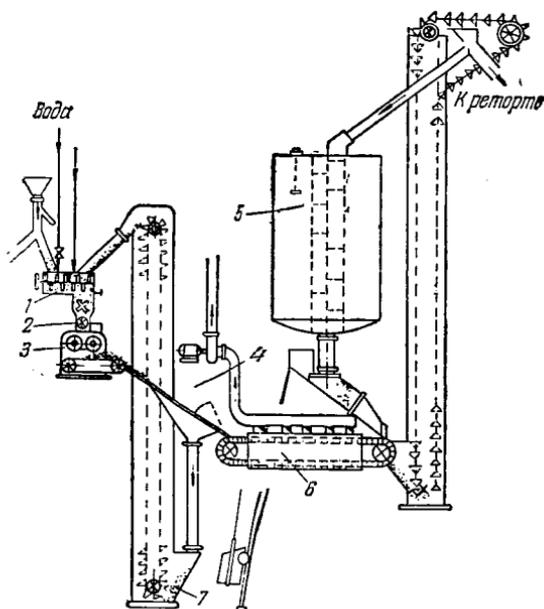


Рис. 44. Брикетная установка:

- 1 — смеситель; 2 — лопастной питатель; 3 — пресс;
4 — грохот; 5 — бункер; 6 — охлаждающий транспортер;
7 — элеватор для возврата мелочи

На рис. 44 представлена установка для брикетирования. В лопастном смесителе 1 уголь смешивается со связующим (пек с температурой плавления 40°, подогретый до 160°) и некоторым количеством воды. Смесь через питатель 2 поступает на валки пресса 3. Сырые брикеты проходят через грохот 4, на котором отделяется мелочь, и далее поступают на охлаждающий транспортер 6, с которого они попадают непосредственно в реторту для коксования, либо в промежуточный бункер 5.

Схема реторты для полукоксования брикетов показана на рис. 45. Она представляет собой стальной цилиндр диаметром около 2,5 м и высотой 6 м, изнутри футерованный огнеупорным

кирпичом. В установке Бетлехем производительностью 100 т в сутки сырые брикеты непрерывно поступают в реторту через питатель 1. Четыре загрузочные воронки с бункерами 2 обеспе-

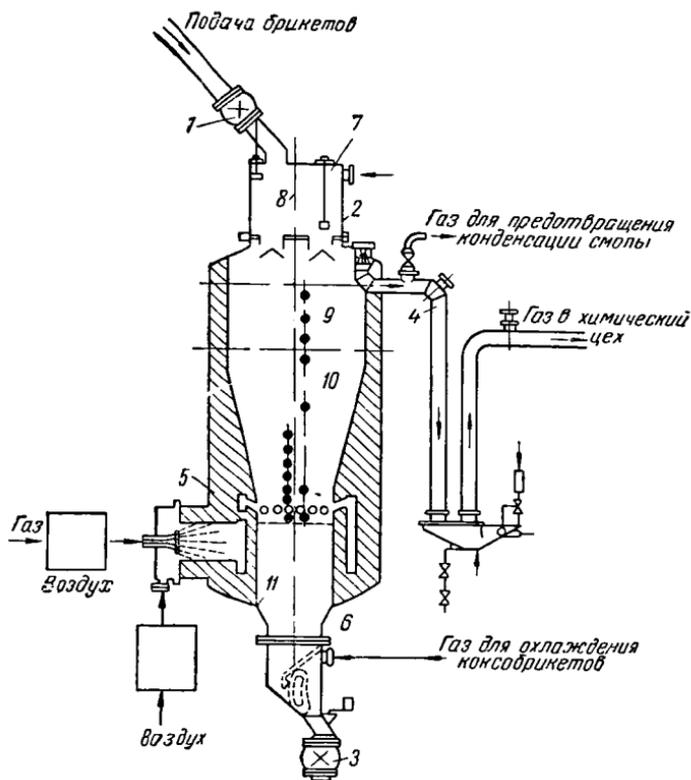


Рис. 45. Реторта для коксования брикетов:

1 — питатель; 2 — бункер; 3 — затвор; 4 — патрубок для отвода коксового газа; 5 — горелка; 6 — ввод газа для охлаждения коксованных брикетов; 7 — ввод газа для предотвращения конденсации смолы вверх реторты; 8 — зона нагрева брикетов до 350°; 9 — зона нагрева брикетов до 500°; 10 — зона нагрева брикетов до 900°; 11 — зона охлаждения коксованных брикетов

чивают равномерное распределение брикетов по сечению реторты. Экстрактором 3 брикеты непрерывно удаляются из реторты.

Газ при температуре 150° отбирается в верхней части реторты, охлаждается аммиачной водой до 80°, проходит обычную систему аппаратов улавливания химических продуктов, а затем разделяется на следующие потоки:

а) отопительный газ, частично сжигаемый со строго ограниченным количеством воздуха в горелке 5; продукты горения,

поднимаясь по реторте, отдают свое тепло брикетам; если требуется получить высококалорийный газ, отопительный газ и воздух предварительно подогревают;

б) холодный газ, поступающий в бункер 6 и используемый для охлаждения брикетов до 100° ;

в) холодный газ или предварительно подогретый газ, вводимый в верхнюю часть реторты для предотвращения конденсации смолы на сырых брикетах, что может вызвать их слипание. В бункере-питателе брикеты подогреваются до 150° , в зоне подогрева 8 их температура поднимается до 350° , в зоне 9 происходит нагрев брикетов в критическом интервале, т. е. от 350 до 500° ; далее на пути вниз их температура доводится примерно до 900° ; сужение нижней части реторты обусловлено тем, что здесь брикеты могут передвигаться с большой скоростью, не деформируясь при этом.

Основным преимуществом процесса является возможность существенного расширения ассортимента углей для коксования. В последнее время опытным путем доказано, что большой расход связующего на стадии брикетирования может быть устранен путем применения вместо пека смеси пека с коксующимся углем и проведения брикетирования при повышенных температурах.

Для конечной стадии процесса — коксования брикетов — основная задача заключается в повышении интенсивности теплопередачи к брикетам. Осуществление процесса в потоке песка позволяет сократить его до 30—45 мин. вместо 4,5 час. в печах с внешним обогревом (установка Фурнацит).

Исследуются также перспективы широкого использования твердого теплоносителя для коксования брикетов [194]. В этом случае исключаются явления слипания брикетов, резко улучшаются условия теплопередачи, а также качество коксобрикетов.

Получаемый продукт обладает большой механической прочностью и постоянными размерами. Плотность и размеры коксобрикетов могут по желанию изменяться. Выход летучих из коксобрикетов может изменяться в зависимости от конечной температуры процесса (600 — 900° или выше).

Реторты гибки в эксплуатации, могут быть легко остановлены и снова пущены в ход; производительность их может изменяться в широких пределах. Непрерывность процесса облегчает эксплуатацию реторт и снижает расход тепла на коксование.

В табл. 19 приводится тепловой баланс переработки угля по методу NFC и для сравнения тепловой баланс обычного коксования.

На собственный обогрев обычных коксовых печей расходуется около 38% всего производимого коксового газа. В процессе на собственно обогрев печи, сушку и окисление угля и на

Таблица 19
БАЛАНС ПРОЦЕССА ОБЫЧНОГО КОКСОВАНИЯ И КОКСОВАНИЯ
ПО МЕТОДУ NFC (на 1 т сухого угля)

Показатели	Обычное коксование	Метод NFC (92% угля и 8% пека)
Выход летучих из шихты на горючую массу, %	35	36
Кокс, кг	732	646
Выход газа, н.м ³	330	215
Расход газа на обогрев, н.м ³	125	—
Расход газа на обогрев, окисление, сушку, производство пара, подо- грев газа и воздуха, н.м ³	—	75
Избыточный газ, н.м ³	205	140
Теплота сгорания газа, ккал/н.м ³	4940	4550
Смола, кг	40	130
Аммиак, кг	3,5	2
Бензол, кг	13	3

производство пара расходуется 35% от производимого газа. Это объясняется низким расходом тепла на коксование по этому методу вследствие небольших тепловых потерь с отходящими газами и в окружающее пространство, а также малым физическим теплом кокса, подвергаемого сухому тушению внутри печи.

По сравнению с обычным коксованием процесс NFC дает большой выход смолы в результате уменьшения выхода газа. Выход аммиака ниже на одну треть.

Измельчение, сушка, окисление и брикетирование представляют сложные и дорогостоящие операции, однако экономически процесс оправдывается низкими капиталовложениями по установке в целом. По данным фирмы NFC капиталовложения в промышленную установку будут на 30—40% ниже, чем в обычную коксовую установку равной производительности.

Изучаются возможности применения этого процесса к углям Великобритании [141].

Процесс Непсена (предварительное брикетирование со связующим, электрококсование)

Существенный интерес представляет опытная установка в Нотайдене (Норвегия), рассчитанная на переработку шпидбергского спекающегося угля с целью получения из него высокотемпературного кокса и синтез-газа для химической промышленности [195]. Угли месторождения Лонгиир содержат 0,70% влаги, 5,44% золы, дают выход летучих 39,6%.

Уголь дробится и либо в пылевидном состоянии брикетируется под высоким давлением (2500 кг/см^2) в кольцевом прессе, либо в виде несколько более крупных частиц брикетируется под давлением $100\text{--}200 \text{ кг/см}^2$ с использованием концентрированного сульфитного щелока как связующего.

На рис. 46 показана схема установки. Брикеты, подогретые до температуры $150\text{--}200^\circ$ в специальном аппарате или в верхней части собственно реторты коксования, поступают в шахту 5. Медленно опускаясь по шахте, брикеты нагреваются горячими газами и в нижней части печи подвергаются электрококсованию; трехфазный ток подводится к загрузке через два ряда электродов. Скоксовые брикеты выходят через коническую часть печи. Холодный газ, подаваемый воздуходувкой 11, охлаждает раскаленный кокс, сам при этом нагреваясь. В электрической печи газ подогревается до 1000° и, реагируя с раскисленным углеродом, дает СО и H_2 . Состав получаемого газа после конверсии: $\text{H}_2\text{—}70\%$; $\text{CO—}27\%$, CO_2 , $\text{CH}_4 + \text{N}_2\text{—}3\%$. Часть этого газа используется для термической подготовки сырых угольных брикетов, а остаток отсасывается и используется для синтеза. В случае нужды реторта дает городской газ с теплотой сгорания $4440\text{--}4650 \text{ ккал/м}^3$.

Следующая опытная установка, которая намечена к строительству, будет перерабатывать 25 т брикетов в сутки. Распределение брикетов и газа по сечению печи представляется вполне удовлетворительным. Даже для печи с суточной производительностью 150 т потребное напряжение на электродах согласно проекту не превышает 150 в.

Получаемые брикеты обладают свойствами высокотемпературного кокса и характеризуются выходом летучих $1\text{--}2\%$. Раздавливающее усилие их доходит до 500 кг/см^2 . Реакционная способность брикетов может соответствовать таковой для до-

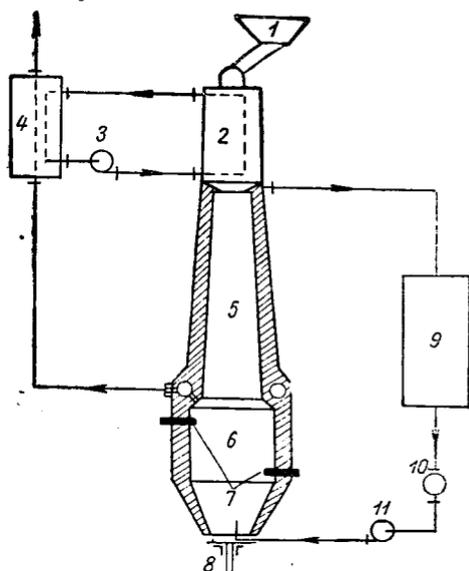


Рис. 46. Реторта для электрококсования брикетов:

1 — бункер; 2 — подогреватель брикетов; 3 — газодувка; 4 — теплообменник; 5 — шахта печи; 6 — горн; 7 — электроды; 8 — разгрузочное устройство; 9 — конденсатор; 10 — фильтр; 11 — газодувка

менного, литейного или бытового кокса. Работы по электрококсованию шпицбергенского угля в Норвегии дошли до стадии возможного осуществления установки в промышленном масштабе.

Иенсен полагает, что вышеописанная установка производительностью 25 т угля в сутки сможет работать с расходом энергии 175 *квт-ч/т*; при производительности установки 125 т в сутки расход энергии может быть понижен до 120 *квт-ч/т* перерабатываемого угля. Последняя величина с учетом к. п. д. производства электроэнергии примерно соответствует расходу тепла на коксование в современной регенеративной коксовой печи.

Если расход электроэнергии в 120 *квт-ч/т* подтвердится, то приняв расход угля в 0,57 кг на производство 1 *квт-ч* электроэнергии и расход коксовой мелочи равным 11,4 кг на тонну подогреваемых угольных брикетов, общий расход угля составит 79,4 кг или около 8% на тонну коксуемого угля [216].

При термической обработке брикетов из тощих углей на заводах Западной Европы в качестве связующего при брикетировании используется пека. Следует учитывать, что в процессе термообработки улетучивается 50% пека, что затрудняет создание прочной структуры пекового кокса. При добавлении к тощим углям некоторого количества коксующегося угля в качестве связующего используют сульфитный щелок [176].

При термической обработке брикетов из плохоспекающихся углей часто наблюдается значительное вспучивание брикетов, а также сплавление их между собой, вызванное давлением образующихся газов в слабопластической среде. Брикеты подобного типа часто зависают при коксовании в шахтных печах и, кроме того, дают большое количество мелочи. Для борьбы с этим явлением возможны следующие мероприятия: добавление минимально возможного количества пека; замена пека сульфитным щелоком; добавление к углю тонкоизмельченного полукокса; замедление процесса коксования; обработка воздухом при 170° угля или сырых брикетов для снижения спекаемости.

Поведение каменноугольных брикетов при нагревании должно быть тщательно исследовано в лабораторных и полужавоцских условиях, однако и это не гарантирует нормального хода промышленных печей для термообработки.

В этом отношении характерен пример освоения установки для производства коксобрикета в Эбермене (Англия). В первое время после пуска установки, рассчитанной на производительность 30 000 т в год, встретилось большое затруднение вследствие того, что брикеты при прокалке либо рассыпались, либо сплавлялись между собой. Основная причина этих трудностей заключалась в неудовлетворительном подборе шихты для брикетирования и в колебаниях ее состава. Пуск дозирочного и

смесительного отделения обеспечил постоянство качества шихты; теперь установка дает лишь кондиционный коксобрикет. Эти факты следует учесть при сооружении в наших условиях установок для производства коксобрикета из каменных углей.

Добавление железной руды и связующего, брикетирование, коксование

Процесс такого рода описывается в работе А. Тау [252]. Измельченный уголь, который не обязательно должен быть хорошо коксующимся, смешивают с измельченной рудой и брикетируют. Брикеты подвергают полукоксованию. В случае некоксующихся углей добавляют связующее в виде концентрированного сульфитного щелока или отбросных углеводородов. Получаемые таким образом брикеты представляют смесь магнитной железной руды и полукокса. Они могут быть непосредственно загружены в доменную печь или подвергнуты безостановочной газификации в генераторах с жидким шлакоудалением или, еще лучше, в низких печах специальной конструкции с ватержакетом.

Относительная скорость восстановления углеродом бурой железной руды при температурах до 1200° измерялась в работе Лехера [205]. Автором была испытана механическая смесь сортированного высокотемпературного кокса и руды. Вторая композиция — смесь руды с полукоксом «Диско». Третья композиция — агломерат, полученный путем коксования угля и руды при 500°. Этот агломерат, полученный путем нагрева тонкоизмельченной руды в течение 30 мин. с коксующимся углем до температуры, несколько превышающей температуру пластического состояния, дает продукт, в котором частицы окиси железа импрегнированы и прочно скреплены коксом. Агломерат руда — полукокс оказался наиболее активным в восстановлении окислов, механическая смесь полукокса и руды оказалась на втором месте; наименее активна смесь руды с коксом.

М. С. Курчатов [52] считает, что наилучшим горючим для производства рудоугольных брикетов является кокс или коксующиеся угли. Тщательное перемешивание компонентов и тонкое измельчение их позволяют получить вполне удовлетворительные результаты даже для смесей из антрацитов и трудновосстановимых магнетитовых руд.

Интересный метод расширения гаммы углей для коксования предложен Вебером. После брикетирования полукокса сульфитными щелоками он перешел к обработке неспекающихся углей по такому же методу. Термообработка подобных брикетов дает кусковой кокс, пригодный для металлургии. После продолжительной работы Вебер пришел к успешному осу-

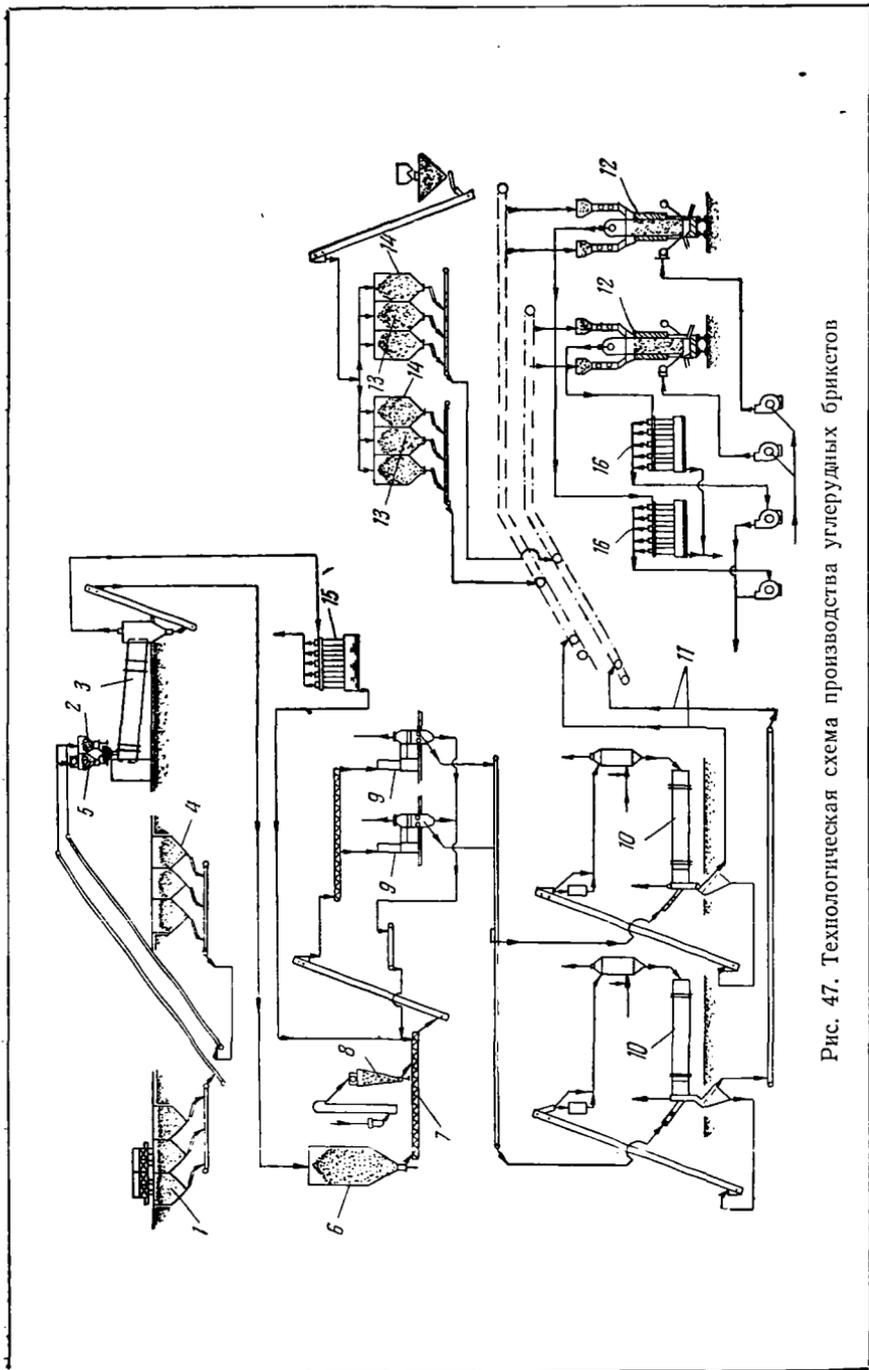


Рис. 47. Технологическая схема производства углерудных брикетов

ществлению получаемых результатов на экспериментальной установке для производства чугуна из рудной мелочи и неспекающихся углей.

Процесс состоит в основном в смешении тонкоизмельченной железной руды с мелочью некоксуемого угля; после добавления связующего (пек, концентрированный сульфитный щелок) смесь пропускают через вальцовый пресс для брикетирования. Брикетные заготовки затвердевают в сушильной установке при 250° и затем подвергаются полукоксованию во вращающейся реторте при температуре $550-600^{\circ}$. Длительность процесса полукоксования составляет около 3 час., хотя в реторте Гумбольта, использующей в качестве теплоносителя песок, процесс длится только около одного часа. В дополнение к перерабатываемому сырью смола, используемая в качестве связующего, является дополнительным источником фенолов и масел.

Брикетные заготовки плавятся в печи с водяной рубашкой, представляющей в сечении узкий прямоугольник. Высота загрузки только 2—3 м. Полузаводские испытания в Колонь-Кальк с применением трех типов коксорудных брикетов дали удовлетворительные результаты и показали экономию в 30% по сравнению со стоимостью производства чугуна в доменных печах при переработке 50% агломерата и 33% кусковой руды. Развитие этого процесса рассматривается во Франции одновременно с предложением перехода на кислородное дутье с тем, чтобы получаемый газ конвертировался в синтез-газ.

Основные преимущества указанного метода: расширение гаммы используемых в металлургии углей вплоть до длиннопламенных, повышение выходов смолы по сравнению с высокотемпературным коксованием, уменьшение капитальных затрат.

Общая схема процесса представлена на рис. 47. Тонкоизмельченная руда из бункеров 1 подается ленточным транспортером в промежуточный бункер 2, соединенный с сушилкой 3. Мелкий уголь забирается из бункеров 4 ленточным транспортером и в случае надобности, пройдя молотковую дробилку, поступает в промежуточный бункер 5. Сухая смесь измельченного угля и руды подается в бункер — склад 6. Дальше смесь поступает в смесительный шнек 7, в который одновременно из бункера 8 подается связующая добавка и далее в брикетные прессы 9. Полученное сырье загружается в реторты для коксования 10. Обработанные брикетные заготовки по ленточным транспортерам 11 подаются в плавильные печи 12. Предварительно брикетные заготовки смешиваются с нужным количеством кусковой руды (из бункеров 13) и флюсов (из бункеров 14). Сушилки соединены с обеспыливающим агрегатом 15, подобное же устройство 16 предусмотрено для плавильных печей.

Глава VI

ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ТЕРМООБРАБОТКА ПЕРЕД КОКСОВАНИЕМ

1. БЫСТРЫЙ НАГРЕВ, КОКСОВАНИЕ

Как уже указывалось выше, предварительный быстрый нагрев шихты улучшает качество кокса. Кроме того, качество кокса улучшается благодаря более равномерному распределению температур в загрузке, что уменьшает трещиноватость его и повышает коэффициент равномерности кокса по крупности. Г. Н. Макаров [67] показал, что особенно заметно улучшается качество кокса при коксовании термически обработанных слабо-спекающихся углей марки СС. Кокс, полученный в лабораторных условиях из одних термически обработанных газовых углей, по своему качеству соответствует металлургическому коксу.

При предварительной термообработке резко снижается тепловая нагрузка коксовых печей. При влажности угля 10% и предварительном подогреве его до 280° уменьшение расхода тепла на коксование составляет 137 кал. Загрузка предварительно подогретого сухого угля позволяет резко сократить период коксования.

Срок службы коксовых печей удлиняется путем улучшения температурных условий работы динасового кирпича. Уменьшается нагрузка конденсации и потребная мощность газодувок.

В коксовании необходимо исходить из принципа, давно уже осуществленного в установках полукоксования: неэкономичность использования объема камеры коксования для целей сушки и подогрева угля.

Рядом исследований установлено, что снижение влажности угля приводит к значительному росту насыпного веса угольной загрузки. Нагревание угля после удаления влаги до температур 250—300° также повышает насыпной вес загрузки. При этом насыпной вес резко повышается при нагреве до 150°; дальнейший подъем температуры сказывается на насыпном весе незначительно.

Удаление влаги из угля резко уменьшает величину коэффициента трения между угольными зернами, в связи с чем и происхо-

дит уплотнение угольной загрузки. Работами, проведенными в Московском химико-технологическом институте им Д. И. Менделеева, изучено изменение сыпучести подогретого угля. В результате этих работ установлено, что угол естественного откоса насыпанного конуса угля резко снижается при уменьшении влажности угля до 1,8%. Дальнейшее снижение этого угла происходит более медленно.

Работы, проведенные в МХТИ, а также в ВУХИНе, подтвердили широкие возможности метода предварительного нагрева углей перед коксованием по улучшению качества получаемого кокса, особенно для слабоспекающихся углей.

Существенное значение при предварительном нагреве углей имеет снижение содержания серы в коксе при коксовании высокосернистых шихт. Проведенными исследованиями установлено, что в процессе предварительного нагрева углей происходит снижение их сернистости, главным образом путем удаления значительной части органической серы и некоторого уменьшения пиритной серы. При этом наиболее резко снижается сернистость кокса при предварительном нагреве угля до 200°.

Лабораторные исследования Л. И. Еркина, В. К. Петрова и М. А. Бернацкой [39] показали, что предварительный нагрев угля перед коксованием до 300° во всех случаях приводит к повышению структурной прочности кокса, в том числе кокса, полученного из углей с различной спекаемостью. Относительное повышение структурной прочности кокса, достигаемое с помощью предварительного нагрева, выше для углей слабоспекающихся.

Механическая прочность кокса из всех углей с повышением температуры нагрева шихты вначале заметно возрастает, а затем падает. Оптимальный температурный интервал для всех испытанных углей составлял 150—250°. С уменьшением скорости нагревания значительно снижается положительный эффект от нагрева угля перед коксованием.

При коксовании двух угольных шихт в полузаводской печи путем предварительного нагрева угля перед коксованием с умеренной скоростью (до 2 град/мин) удалось существенно повысить прочность кокса: остаток в барабане увеличился на 12—20 кг, выход класса 0—10 мм в подбарабанном продукте уменьшился на 15—35 кг.

Работой Н. С. Грязнова, М. Г. Фельдбрина и С. С. Кузовкова [28] установлено, что насыпной вес и скорость истечения шихты из бункера достигают максимума при нагревании до 200°. Шихта, нагретая до этой температуры, имеет насыпной вес на 18,4% выше по сравнению с холодной шихтой 10%-ной влажности.

Чтобы при коксовании предварительно нагретой шихты до-

стичь более значительного повышения прочности кокса, необходимо применять средства для ослабления влияния факторов, усиливающих напряженность и дробимость кокса. Поэтому для получения прочного кокса из угольных шихт с участием большого

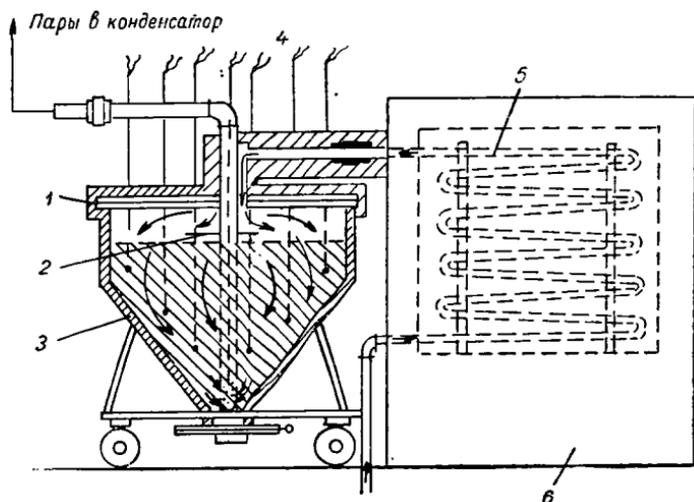


Рис. 48. Схема полузаводской установки для быстрого нагрева шихты:

1 — крышка; 2 — плита; 3 — изолированная стенка бункера; 4 — термопара; 5 — пароперегреватель; 6 — печь

количества газовых углей целесообразно после предварительного нагревания шихты подвергать ее избирательному или более тонкому измельчению.

Гофман [188] предложил способ улучшения качества кокса из углей малой и средней степени метаморфизма, особенно углей с высоким содержанием экзинита и резинита, отличающийся предварительной обработкой путем быстрого нагрева до 200—330° и выдержки при этой температуре в течение 20—60 сек. Термообработку целесообразно сочетать с предварительным или последующим выдерживанием измельченного угля в бункерах. Этот способ был испытан в промышленном масштабе и показал увеличение индекса М-40 на 2—6 единиц.

Для изучения подогрева угля перед коксованием в полузаводском масштабе Перч и Рассел [225] использовали загрузочный вагон опытной коксовой печи с передвижной стенкой. Загрузочный бункер емкостью около 200 кг угля соответствующим образом переоборудован (рис. 48). Верхняя часть бункера была за-

крыта приболоченной массивной плитой с пропущенными сквозь нее двумя концентрическими трубами. Внешняя труба оканчивалась под крышкой, а внутренняя труба, снабженная сеткой, проходила до нижней части бункера. Против выходного отверстия внешней трубы над углем помещалась перфорированная плита, служившая для более равномерного распределения газового потока по угольной загрузке. В уголь вводились семь термпар на различном расстоянии от оси бункера.

Пар низкого давления нагревали до 350—400° в змеевике, помещенном в камеру другой экспериментальной печи, и по внешней трубе подавали в пространство над углем. Пар и летучие продукты отводили в конденсатор. Для опытов использовали уголь в воздушносухом состоянии, измельченный до размера 80 % менее 3 мм. Опыты проводились с тремя пробами углей, характеризующихся выходом летучих веществ от 39,2 до 41,8 % (на сухую массу). Уголь подвергали нагреву до 250°, причем в конце периода нагрева температура угля отличалась от средней на $\pm 30^\circ$. Несмотря на тепловую изоляцию бункера, тепловые потери были значительными и подогрев угля продолжался 35—45 час.

После подогрева угля бункер отключали от пароперегревателя, передвигали к опытной печи и загружали в нее уголь. Средняя температура стен вертикалов печи, как и в опытах с неподогретой шихтой, составляла 1350°.

Выгрузка кокса из печи производилась при достижении им температуры 950°.

Средняя потеря веса при предварительном подогреве до 250° составила 2,7 % в случае чилийского и илинойского угля и 5,4 % для угля Юта. Период коксования подогретых углей сократился на 33—35 % по сравнению с обычными углями. Увеличение максимального давления вспучивания составило 8—27 %. Кокс из подогретого угля содержал повышенный на 50—67 % выход класса более 50 мм. Выход коксовой мелочи 0—12 мм не изменился при коксовании илинойского угля, сократился на 26 % в случае чилийского и на 45 % для угля Юта. Одновременно с этим предварительный подогрев угля вызывает повышение механической прочности кокса.

Для оценки степени улучшения качества кокса при предварительном подогреве были проведены сравнительные опыты по коксованию тех же неподогретых углей в смеси с 20—30 % угля Покахонтас с низким выходом летучих, а также с добавкой 10 % нефтяного пека. В случае чилийского угля подогрев оказывает такое же влияние на качество кокса, что и добавление 20 % сильно метаморфизованного угля, а для угля илинойского равный эффект улучшения качества кокса достигается при добавлении 30 % угля Покахонтас. Добавление 10 % нефтяного пека к углю Юта

улучшает качество кокса лишь незначительно больше, чем предварительный подогрев смеси.

При промышленном осуществлении предварительного подогрева угля это целесообразно осуществлять в псевдооживленном слое.

Исследования, проведенные на опытной станции в Мариано [172], показывают, что одновременное применение предварительного нагрева и тонкого измельчения шихты (ниже 2 мм) открывает не меньшие возможности расширения угольной базы коксования путем применения малометаморфизованных углей, чем трамбование шихты.

Влияние предварительного нагрева углей перед коксованием на выходы и состав химических продуктов остается невыясненным, так как необходимые для их определения лабораторные исследования и промышленные испытания до сих пор не произведены. Несомненно, что в связи с изменением условий коксования при применении метода предварительного нагрева (изменение скорости коксования, насыпного веса загрузки и особенно отсутствие влаги в угле) выходы и состав химических продуктов должны измениться.

Коксование предварительно нагретой шихты является процессом, имеющим несомненные технологические и экономические преимущества. До применения этого процесса в крупном промышленном масштабе должны быть решены следующие основные вопросы, касающиеся главным образом аппаратурного оформления процесса:

- 1) выбор аппаратов для предварительного нагрева угля;
- 2) разработка аппаратуры по приему нагретого угля и его загрузке в камеры коксовых печей;
- 3) конструктивные решения отвода больших количеств газа, образующихся сразу после загрузки предварительно подогретого угля в камеры коксовых печей.

Процесс предварительного нагрева углей может быть организован с использованием для нагрева аэродинамических аппаратов типа вихревой камеры, допускающих скоростной нагрев больших количеств угля при возможности изменения в широких пределах состава греющего газа теплоносителя, в аппаратах с применением так называемого «кипящего слоя» либо в аппаратах с пересыпанием угля на валках.

Существенные трудности при применении метода предварительного подогрева шихты в производственном масштабе необходимо преодолеть на участке приема нагретого угля и его загрузки в камеры печей, особенно в связи с необходимостью герметизации всей аппаратуры этого участка.

Экономический эффект от внедрения этого процесса в значительной мере будет определяться возможностью использования

отбросного тепла (например, тепла продуктов горения, уходящих в дымовые трубы коксовых батарей) для предварительного нагрева угля. Особенно большие возможности в этом направлении имеются у коксохимических установок, расположенных рядом с доменными цехами металлургических заводов. Повышение температуры дутья для доменных печей связано с необходимостью нагрева до высокой температуры насадки кауперов. При этом значительные количества продуктов горения от кауперов с температурой 600° и выше выбрасываются в атмосферу.

Использование отбросного тепла продуктов горения коксовых батарей и кауперов открывает широкие возможности осуществления предварительного подогрева угольной шихты для загрузки коксовых печей только вследствие применения этих источников, что создает предпосылки достижения очень высоких экономических показателей процесса.

За рубежом наибольший прогресс в деле внедрения метода предварительного подогрева угля перед загрузкой в коксовые печи достигнут во Франции. Технология процесса тщательно разработана Центральным научно-исследовательским институтом Управления угольной промышленности Франции, опытной коксохимической станцией в Мариено и успешно применяется на опытном заводе в Мариено Мозель, а также на заводе Агонданж. На этом заводе на загрузку сухой шихты переведены в настоящее время две батареи, по 30 печей в каждой.

По имеющимся данным об эксплуатации коксовых печей во Франции с загрузкой сухой шихты применение этого метода позволяет значительно снизить участие хорошо коксующегося угля в шихте. Себестоимость процесса загрузки сухой шихты в печи не увеличивается, так как стоимость дополнительных установок компенсируется увеличением производительности коксовых печей. Эксплуатационные расходы изменяются незначительно.

Опыт, накопленный во Франции в области использования слабоспекающихся углей и, в частности, в вопросе загрузки сухой шихты в печи показывает, что можно получить высококачественный металлургический кокс, широко используя уголь, который 10 лет тому назад считался непригодным для этой цели. По данным завода в Агонданж, прием угля, его дозировка, смешение и измельчение в случае применения метода предварительного нагрева угля перед загрузкой в печи производятся так же, как и по обычной схеме коксохимического завода. Сушка угля может производиться в обычных установках. На упомянутых заводах применяется установка для подогрева угля, в которой дробленый уголь, падая, соприкасается с дымовыми газами в течение нескольких десятков секунд. Пребывание угля в потоке дымовых газов, содержащих избыток воздуха, 13 А. А. Агроскин, А. К. Шелков

не снижает коксующихся свойств угля путем окисления. Окисление может произойти позже в бункере, если уголь поступит туда при очень высокой температуре. Опытной эксплуатацией подобных установок во Франции установлено, что если уголь помещен в бункер при температуре не выше 40° , его можно там хранить в течение 48 час. Срок этот вполне достаточен для проведения всех рабочих операций.

После сушки в сушильном агрегате уголь может быть подан непосредственно в угольную башню. На заводе в Агонданж после сушки применяют метод избирательного дробления. Угольная шихта пропускается через сито, имеющее отверстия 2—3 мм, через которое постепенно, по мере измельчения до нужного размера проходит вся масса шихты. Способ избирательного дробления, по данным французских коксовиков, имеет следующие преимущества:

1) измельчаются твердые и плохоспекающиеся зерна угля размером больше отверстий сита, что улучшает механическую прочность кокса;

2) уменьшается количество слишком мелких частиц угля, образующих вредную для рабочих пыль, отрицательно влияющую на механические свойства кокса;

3) достигается однородность измельчения и гранулометрический состав дробленой шихты, независимый от износа дробильных устройств;

4) уменьшается сегрегация дробленой шихты в бункерах, создающая неоднородность ее состава.

Избирательное измельчение углей во Франции применяется и при загрузке влажной шихты. Однако этим методом пользуются всегда при загрузке сухой шихты, так как при этом нет необходимости применять подогрев сит, обязательный при грохочении угля с влажностью 7—10%. Загрузка шихты в коксовые печи при сушке ее производится с помощью углезагрузочных вагонов. При наполнении вагонов под угольной башней и опорожнении их над камерами коксовых печей газы выделяются лишь в незначительном количестве. Помимо завода Агонданж, установка для сушки угля перед загрузкой его в печи сооружена на коксохимическом заводе в Алжире. Загрузка сухой шихты в печи требует проведения некоторых других относительно простых мероприятий для предотвращения пылеобразования. По мнению французских коксовиков, загрузка сухой шихты может быть применена на любом коксохимическом заводе, применяющем загрузку влажной шихты с помощью углезагрузочных вагонов.

Многочисленные исследования, проведенные на заводах Мариено и Агонданж показали, что предварительный нагрев угля перед загрузкой его в камеры благодаря увеличению насыпного

веса шихты позволяет существенно улучшить качество кокса по сравнению с коксом, получаемым обычным способом из того же угля. Испытания проводились во всех случаях при температуре в простенках 1300°. Температура эта бралась как средняя через час после загрузки печи и сразу после ее выдачи.

Ситовый состав испытанных шихт приводится в табл. 20.

Т а б л и ц а 20
ВЛАЖНОСТЬ И СИТОВЫЙ СОСТАВ ШИХТ

Показатели	Загрузка влажной шихты	Загрузка сухой шихты без избирательного дробления	Загрузка сухой шихты с применением избирательного дробления до 2 мм
Влажность, %	10	1—2	1—2
Ситовый состав %:			
< 3 мм	95	95	—
< 2 мм	87	90	100
< 1 мм	62	70	84
< 0,5 мм	41	50	60
< 0,2 мм	18	26	30

Первая группа исследований была посвящена сравнению показателей механической прочности кокса, полученного при коксовании влажной и сухой шихты одного и того же состава без применения избирательного дробления углей. Состав шихты приведен в табл. 21.

Т а б л и ц а 21
СОСТАВ ШИХТЫ

Составляющие	Состав шихты, %	Выход летучих веществ %
Жирный лотарингский уголь	35	32
Жирный саарский уголь	35	35
Жирный рурский коксующийся уголь	10	22
Полужирный уголь бассейна Экс-ла-Шапель	20	17,5

Загрузка экспериментальных шихт была произведена одновременно на опытной батарее в три коксовые печи различной ширины (320, 380 и 450 мм). Насыпной вес средний для этих пе-

чей для влажной и сухой шихты был различным. Загрузка сухой шихты в печи увеличивает ее насыпной вес на 14%, если сравнивать с шихтой влажностью 6%, и на 16% при сравнении с шихтой влажностью 9%. Изменения показателей механической прочности кокса по микум-барабану (М-40 и М-10) в зависимости

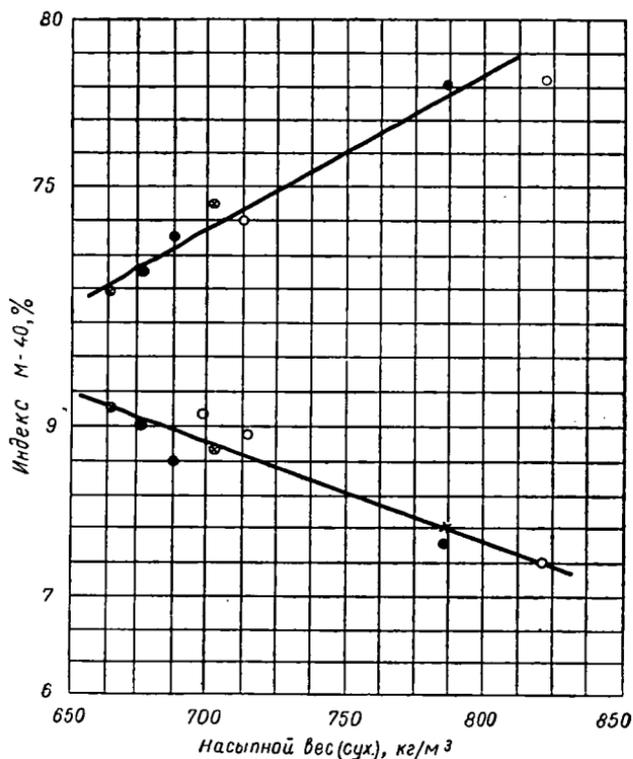


Рис. 49. Зависимость качества кокса от насыпного веса шихты:

● — печь 320 мм; ○ — печь 380 мм; ⊕ — печь 450 мм

от изменений насыпного веса шихты при ее сушке представлены на рис. 49, где отдельно приведены результаты, полученные на трех печах (каждая точка на графике дает средний показатель загрузок печи). Как видно из графика, загрузка сухой шихты обеспечивает улучшение качества кокса от 3 до 5 пунктов по показателю М-40 и более чем на 1 пункт по показателю М-10. По мнению авторов улучшение качества кокса по показателю М-10 на 1 пункт имеет не меньшее значение, чем увеличение показателя М-40 на несколько пунктов.

Вторая группа исследований была проведена в несколько другом направлении. Целью применения загрузки сухой шихты в печи в этом случае было увеличение процентного участия в шихте

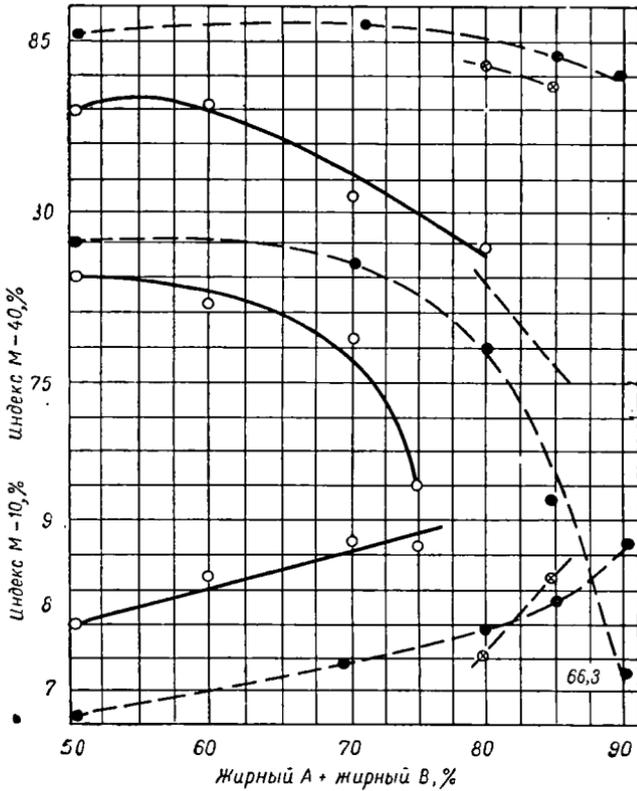


Рис. 50. Зависимость качества кокса от состава шихты:
 ⊕ — сухая с методическим измельчением; ● — сухая; ○ — влажная

местных саарско-лотарингских углей. Результаты этих исследований нанесены на рис. 50. По абсциссе отложено процентное содержание в опытных шихтах местных саарско-лотарингских углей, а по ординате — показатели механической прочности кокса М-40 и М-10 по микум-барабану. Анализ данных приводимого графика показывает, что при участии в шихтах 50% местных саарско-лотарингских углей и при загрузке коксовых печей влажной шихтой получается кокс с характеристиками, отвечающими требованиям лотарингской металлургии (М-40 и М-10 равен 78 и 7,8).

С увеличением процентного содержания местных углей до 75% качество кокса резко ухудшается, показатель М-40 падает до 72, а М-10 поднимается до 8,7.

Однако применение сушки угольной шихты даже без избирательного дробления позволяет, несмотря на возросшее до 75% содержание местных углей в шихте, сохранить показатели механической прочности кокса на прежнем уровне. Способ избирательного дробления применяется при высоком содержании местных углей в шихте. Отсюда следует, что при применении сушки углей и избирательного дробления можно повысить участие местных углей с 50 до 80% без ухудшения качества кокса.

При продолжении работ по применению сушки шихты для получения металлургического кокса был испытан также состав шихты без участия привозных рурских углей. Шихта эта состояла из 60% лотарингских жирных углей, 25% саарских жирных и 15% отошающей присадки из полукокса, подготовленного при температуре 500—550° с выходом 15% летучих веществ. При этом был получен кокс с показателем механической прочности М-40, равным 70—72, и М-10, равным 9—10. На этом коксе в течение месяца хорошо работала доменная печь.

По результатам промышленного применения метода загрузки сухой шихты в коксовые печи во Франции можно сделать ряд выводов об экономике этого метода. Загрузка сухой шихты по сравнению с обычной техникой загрузки требует дополнительных капиталовложений на сооружение сушильных установок и на связанные с ними транспортные устройства. Однако эти расходы компенсируются значительным ростом производительности коксовых печей. В опытах, описанных выше, сравнивалась продолжительность коксования шихт различной влажности. Для получения необходимых экспериментальных данных в определенное место загрузки по оси камеры в трех коксовых печах шириной 320, 380 и 450 мм устанавливалась пирометрическая трубка и систематически отмечалось время, когда температура в этой точке достигала 900°. Результаты, полученные по каждой печи, нанесены на рис. 51, представляющий собой кривые изменений периода коксования при температуре 900° в зависимости от влажности на трех печах различной ширины. Анализ этого графика показывает, что период коксования угольной загрузки для всех трех печей в пределах влажности от 0 до 6—7% остается практически неизменным. При повышении же содержания влаги в шихте с 7 до 10% период коксования при той же температуре в обогревательных простенках (1300°) увеличивается почти на один час.

Выше было установлено, что насыпной вес загружаемой шихты увеличивается на 14% при изменении влажности от 7 до 10% и до 16% — при изменении влажности от 10 до 1%. Следовательно

но, в первом случае увеличение производительности коксовых печей составит 15, а во втором — 20%.

Таким образом, капиталовложения, затраченные на осуществление загрузки сухой шихты в печи, могут быть компенсированы путем увеличения производительности коксовых батарей. Ес-

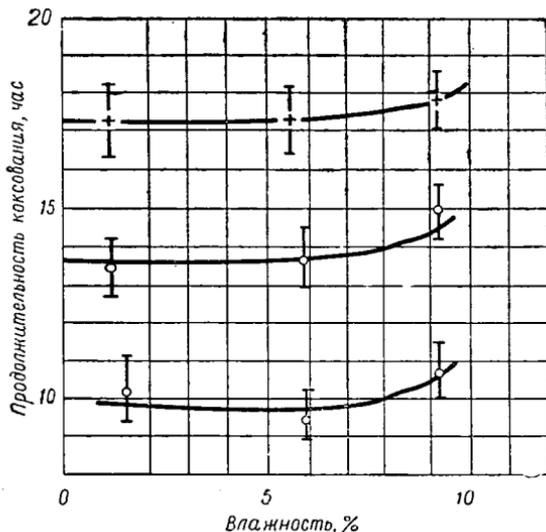


Рис. 51. Зависимость периода коксования от влажности шихты

ли новый метод загрузки сухой шихты в печи обеспечивает увеличение производительности коксовых печей на 15—20%, то для достижения такого же роста производительности при коксовании влажной шихты потребовалось бы соответствующее увеличение количества печей.

Составление тепловых балансов коксовых печей, работающих на загрузке сухим углем, показало, что экономия в расходе тепла на обогрев в этом случае составляет 100 ккал/кг сухого угля, т. е. примерно количество тепла, необходимое для сушки одного килограмма угля влажностью 10%.

Изучение тепловых балансов позволяет сделать вывод, что расход тепла, необходимый для производства одного и того же количества кокса двумя различными способами (с загрузкой коксовых печей влажной и сухой шихтой), включая предварительно сушку угля, одинаков. Но для случая работы на сухом угле сушку можно производить дешевым топливом, тогда как при загрузке печей влажной шихтой это невозможно.

Резюмируя все сказанное, Рош и Луазон [274] делают следующие общие выводы о методе загрузки коксовых печей сухой шихтой, основанные на данных применения этого метода во Франции:

1. При переходе от загрузки влажной шихты к сухой производительность коксовых батарей увеличивается на 15—20% (в зависимости от исходной влажности шихты). Это увеличение производительности для случая коксования влажной шихты может быть компенсировано соответствующим увеличением количества печей.

Капиталовложения, идущие на строительство дополнительных установок для загрузки влажной шихты и на увеличение количества печей для достижения той же производительности, зависят от местных условий и в каждом отдельном случае могут определяться лишь соответствующими сметами.

2. Содержание воды в продуктах улавливания при коксовании сухой шихты уменьшается, что позволяет несколько уменьшить размеры аппаратуры улавливания и, в частности, сократить объем конденсационных вод.

3. Расход тепла на коксование, если учитывать сушку шихты, для случая коксования сухой и влажной шихты различается очень незначительно. Существенным является лишь то обстоятельство, что сушка может производиться более дешевыми источниками тепла, чем обогрев коксовых печей.

4. В угольную шихту может вводиться более высокий процент слабоспекающихся углей при сохранении показателей качества кокса. При неизменной шихте применение метода сушки углей существенно улучшает качество кокса. Это обстоятельство является решающим преимуществом метода.

5. Коксование сухой шихты может быть введено на любом коксохимическом заводе, работающем с влажной шихтой. Операция может производиться по этапам, не прерывая эксплуатации.

7. Таким образом, обычный способ коксования влажной шихты и загрузка сухой шихты связаны с почти одинаковыми затратами как с точки зрения капиталовложений, так и эксплуатационных расходов. Снижение себестоимости кокса в основном объясняется разницей в ценах на местные и привозные угли.

2. БЫСТРЫЙ НАГРЕВ, БРИКЕТИРОВАНИЕ В ПЛАСТИЧЕСКОМ СОСТОЯНИИ, ПРОКАЛКА

При брикетировании каменных углей в пластическом состоянии могут применяться те же давления прессования, что и при брикетировании со связующими. Брикетирование каменных уг-

лей при комнатной температуре потребовало бы давлений, которые еще не освоены техникой.

В силу этих причин брикетирование углей в пластическом состоянии привлекает к себе внимание ряда исследователей и конструкторов, несмотря на ряд значительных технических трудностей, препятствующих внедрению этого процесса.

Брикетирование в пластическом состоянии представляет большой интерес еще и потому, что для расширения сырьевой базы коксования в ряде процессов необходима предварительная термическая обработка угля, и брикетирование при высоких температурах естественно вписывается между двумя стадиями термической обработки. Чисто тепловые соображения показывают це-

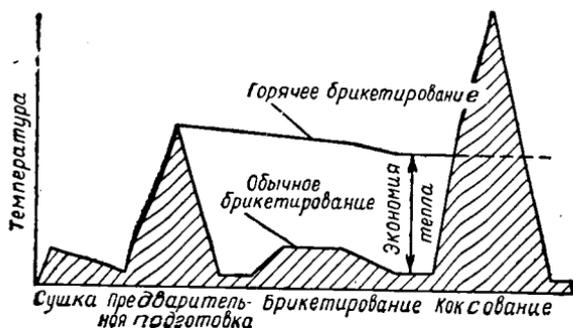


Рис. 52. Изменение температуры угля при горячем и холодном брикетировании

лесообразность последовательного осуществления предварительной термообработки, брикетирования в пластическом состоянии и коксования (прокалки) брикетов в условиях постепенно повышающейся температуры. При обычном брикетировании со связующим необходимо не превышать температуры 100°, а иногда даже проводить процесс при комнатной температуре.

Брикеты после брикетирования следует охлаждать до температуры, близкой к окружающей, что позволит пеку затвердеть и сообщить брикету прочность, достаточную для механических воздействий при транспортировке до коксовой установки. На последней стадии брикеты подвергаются повторному нагреву от температуры охлажденного предварительно обработанного угля до температуры брикетов. Общий термический к. п. д. такого процесса, при котором теряется большое количество тепла, сообщенного углю при предварительной обработке, очень низок. Этот к. п. д. может быть значительно улучшен, как показано на рис. 52, если брикетирование производить при температурах, близких к температуре предварительной обработки брикетов.

При брикетировании в пластическом состоянии используется свойство спекающихся углей размягчаться под воздействием повышенных температур или различных растворителей, позволяющее получать из углей прочные брикеты путем применения небольших давлений прессования. Преимущество данного способа заключается в возможности избежать введения связующих при брикетировании каменных углей.

В нашей стране Институт горючих ископаемых и другие организации проводят большие работы по получению формованного металлургического топлива.

Интересное исследование по брикетированию углей в пластическом состоянии проведено Йеппельтом [193], который изучал влияние на этот процесс ряда факторов: химических и физических свойств брикетируемых углей, скорости нагрева и температуры брикетирования, а также параметров прессования.

Для брикетирования слабоспекающихся каменных углей в пластическом состоянии необходим их предварительный быстрый нагрев до строго заданной температуры. Если нагреть уголь до температуры ниже оптимальной, то он не приобретает пластичности, в связи с чем теряются преимущества низкого давления прессования в пластическом состоянии. При нагревании угля выше оптимальной температуры пластичность также уменьшается. Путем применения высокоскоростного нагрева углей во взвешенном состоянии удалось добиться повышения спекаемости слабоспекающихся углей и снизить температуру начала их размягчения.

При прессовании угля в пластическом состоянии необходимо считаться с выделением газов из угля, способствующим разрушению брикетов после снятия давления прессования. Вредное влияние газов можно предотвратить путем быстрого охлаждения пресс-форм.

Брикетиrowание углей в пластическом состоянии требует небольших давлений при прессовании. Наиболее подходящими прессами для осуществления оптимального давления прессования являются штемпельные, оборудованные охлаждающими устройствами.

При брикетировании смеси углей важное значение имеют отошающие добавки. Опыты, проведенные Дункелем, показали возможность брикетирования спекающихся каменных углей с каменноугольным полукоксом. Возможно также брикетирование каменных углей с добавкой железной руды и получение железугольных брикетов.

Исследованиями установлено значительное пластифицирующее действие на угли ряда органических растворителей — антраценового масла, фенолов и др. Сущность действия пластифицирующих веществ заключается в адсорбции растворителя по-

верхностью угольных частиц, которые при этом набухают и диспергируются, что и приводит к повышению их пластичности. Наиболее легко подвергаются пластификации органическими растворителями газовые и жирные угли.

Основываясь на процессе растворения углей в тяжелых растворителях, И. И. Цуккерман [120] провел исследование по применению этого процесса к брикетированию углей. Опыты показали, что в результате добавления 1—2% антраценового масла к тонкоизмельченному каменному углю и последующего брикетирования может быть получен прочный брикет. Наилучшие результаты были достигнуты при брикетировании одной части обработанного антраценовым маслом угля и трех частей угольной мелочи при температуре 80° и давлении прессования 1500 кг/см². Уголь, подвергнутый обработке маслом (2%), был измельчен до класса 1—0 мм, крупность остальной части 3—0 мм. При смешении угля в шаровой мельнице происходило дальнейшее его измельчение. Брикетирование каменных углей по этому методу основано на использовании антраценового масла в качестве пластификатора.

В работе П. Н. Махалова [119] превращение углей в пластическое состояние производится методом, сочетающим чисто термическое воздействие — нагрев углей при умеренных температурах 240—280° — с физико-химическими методами воздействия на угли органических растворителей в парообразном виде.

Л. Л. Хотунцев [118] предложил способ брикетирования углей, заключающийся в том, что 10—25% брикетируемой шихты обрабатывается антраценовым маслом или фенолами, смешивается с остальной частью шихты и полученная смесь подвергается термической обработке (200—250°) при высоких скоростях нагрева. При последующем прессовании пластифицированная часть углей связывает остальную часть шихты в достаточно прочный брикет. Последующая прокатка брикетов приводит к их дальнейшему упрочнению. Полученные коксобрикеты могут быть использованы в качестве доменного топлива.

Преимущество данного способа заключается в возможности достигнуть пластического состояния углей, обработанных органическими растворителями, при значительно более низких температурах, чем при чисто термических методах брикетирования углей в пластическом состоянии. Это позволяет избежать выделения газов при нагреве углей, препятствующих проведению процесса прессования, и разрушения брикетов газами, выделяющимися после прессования.

Необходимо также упомянуть об исследованиях в этом направлении, проводимых Японским научно-исследовательским институтом [141]. Уголь для перевода в пластическое состояние обрабатывают при повышенных температурах органическими

растворителями (смолы, смоляные масла). В результате получается смолоподобное битуминозное вещество, называемое бойюнтан. Это связующее применяется для производства доменного топлива из малоспекающихся или неспекающихся углей.

В Японии уже производят металлургический кокс из шихты, содержащей 50% плохококсующихся углей, 30% полукокса и 20% связующего бойюнтан. Это связующее получают путем нагрева одной части некоксующегося угля с 3—7 частями каменноугольной смолы до температуры 300—350° в течение 3—11 час. Применение связующего повышает индекс прочности кокса по микум-барабану с 57 до 87 и резко улучшает структуру кокса.

Существенным своеобразием отличаются два способа, разработанные Английским институтом исследования угля (Coal Research Establishment — CRE). Эти способы, описанные Грегори [178], основаны на понижении температуры перехода угля в пластическое состояние пропорционально количеству добавленного пека.

В первое время при брикетировании в пластическом состоянии обнаружили значительные трудности, поскольку принималось, что быстрый нагрев должен расширить температурный интервал пластичности. Однако успех был получен только при добавлении пека, причем действие его в малых количествах особенно эффективно при переработке сильно метаморфизованных углей. Так, например, при добавке 4% пека температура перехода в пластическое состояние угля с выходом летучих веществ 18% снизилась с 445 до 310°, а для угля с выходом летучих 42,6% снижение температуры начала пластичности в тех же условиях составило лишь 5%. Значительное снижение температуры начала перехода в пластическое состояние наблюдается для углей с выходом летучих веществ до 39,5%.

Первый из разработанных CRE способов заключается в том, что уголь предварительно окисляют при 350° для значительного, наперед заданного снижения его спекаемости и после добавления 3—4% пека брикетируют при температуре около 325° под давлением 300 атм. В этих условиях получают брикеты с высокой механической прочностью.

Второй метод, разработанный CRE, состоит из следующих трех ступеней:

- 1) полукоксование угля до температуры 400—650°;
- 2) брикетирование при 400—440° с добавлением углепексовой смеси;
- 3) коксование брикетов при температуре выше 650°.

Целью первой ступени является предварительное выделение части летучих из угля. Остаточный выход летучих в полукоксе, поступающем на брикетирование, — важнейший технологический показатель, поскольку он определяет структуру, форму и вели-

чину брикетируемых частиц. Изменение структуры особенно сильно сказывается при остаточном выходе летучих ниже 25%, поэтому при прочих равных условиях брикеты с выходом летучих ~25% оказываются более прочными, чем брикеты с меньшим выходом летучих веществ.

Для скоксованных брикетов максимум прочности соответствует выходу летучих веществ из угля 30—35%. Именно эти угли дают полукоксы наибольшей плотности, благодаря чему существенно подавляется явление усадки брикетов при последующем коксовании.

Добавляемая во второй стадии смесь пека со спекающимся углем играет роль связующего, затвердевающего при высокой температуре.

Величина добавки зависит от свойств брикетируемого сырья и значительно меньше определяется пластичностью самого угля, чем поведением углепексовой смеси. Поэтому отношение количества угля и пека в добавке может быть изменено в широких пределах. При увеличении содержания пека общее количество потребной добавки уменьшается.

Брикетирование протекает без помех только при температурах выше 380°. При температуре 420° брикеты равной прочности могут быть получены с меньшей добавкой связующего.

Аналогичные исследования проводятся и в Голландии, где, по данным Кардауна [178], угли брикетируются в пластическом состоянии при 400°. Если спекаемость самого угля невелика, в частности в случае сильно метаморфизованных углей, перед брикетированием производят добавку хорошоспекающегося угля. Быстрый нагрев спекающегося угля производят в вихревой камере, причем уголь не перегревается. По такому методу уже работает полужаводская установка с производительностью 100 т брикетов в сутки.

Способ „Кюл-Логс“

Для получения кокса из слабоспекающихся углей с высоким выходом летучих, добываемых в штате Юта (США), предложена новая технология термической переработки углей, заключающаяся в следующем [174].

Первая стадия процесса — нагрев до пластического состояния — осуществляется на бесконечной ленте, сплетенной из хромомолибденовой стальной проволоки, на которую насыпается измельченный уголь слоем 13—25 мм. Слой угля обогревается сверху путем лучеиспускания поверхности топочной камеры, расположенной над конвейером. Зазор между слоем угля и обогревающей поверхностью составляет 25—50 мм. Вибрация ленты

в вертикальном направлении обеспечивает перемешивание и равномерный прогрев угля.

Для отвода жидких продуктов полукоксования, стекающих под проволочную ленту, служат специальные камеры с наклонным дном. Газообразные продукты перегонки отсасываются газодувкой сверху камеры. Теплота сгорания газа полукоксования составляет примерно 6600 ккал/м^3 .

Уголь, нагретый до температуры пластичности, сыпается с конвейера в устройство для формования, состоящее из обогреваемой газом цилиндрической камеры и шнека, откуда через насадку выдавливаются формованные изделия, затвердевающие при охлаждении. Готовые изделия имеют диаметр $76\text{--}89 \text{ мм}$, длину $0,3 \text{ м}$ и выше, выход летучих $10\text{--}15\%$, удельный вес $0,96\text{--}0,77$.

Во второй стадии технологического процесса полученные в формовочном аппарате цилиндры пропускают через печь, в которой температура доводится до $800\text{--}1000^\circ$. Продолжительность прохождения цилиндров через печь составляет от 10 до 15 мин.

Опытная установка для переработки угля по этому методу построена в Солт Лейк Сити (штат Юта). Производительность установки $35\text{--}40 \text{ т}$ формованного кокса в сутки.

На рис. 53 и 54 представлены общий вид и разрез опытной установки «Коул-Логс», работающей в Англии.

Измельченный уголь через лоток 1 (см. рис. 53) загружают на ленточный транспортер 2, проходящий через печь и расположенный непосредственно под камерой обогрева 3. Верхний слой угля находится на расстоянии $25\text{--}50 \text{ мм}$ от излучающей поверхности камеры обогрева.

Барабан 4 диаметром 200 мм приводит в движение транспортер со скоростью $225\text{--}450 \text{ мм/мин}$, регулируемую в зависимости от потребного качества получаемого продукта. При прохождении через камеру обогрева лента вибрирует (амплитуда колебаний 12 мм), что осуществляется при помощи механизмов 5, расположенных на концах реторты. Масса с ведущего барабана 4 попадает в формующее устройство 6, где она спрессовывается и выталкивается в виде цилиндров диаметром $75\text{--}85 \text{ мм}$.

Образующиеся в реторте летучие продукты переработки конденсируются и стекают через проволочную сетку ленточного транспортера 2 в камеры-сборники, расположенные под лентой. Камеры-сборники 7 снабжены водяным охлаждением для предотвращения нагрева жидких продуктов, стекающих на дно камер и поступающих в отводные трубки 8. Реторта охлаждается водой при помощи наружной рубашки.

Образовавшийся газ удаляется эксгаустером по газоотводу 9 и после охлаждения и отделения смолы может быть использован для обогрева реторты.

Камера обогрева 3 длиной 1800 , шириной 280 и высотой

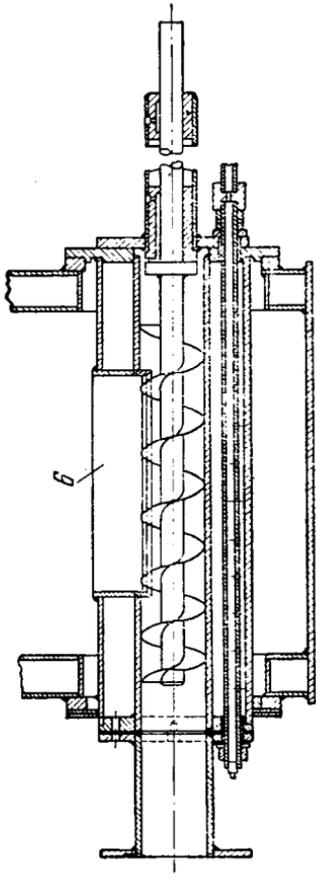
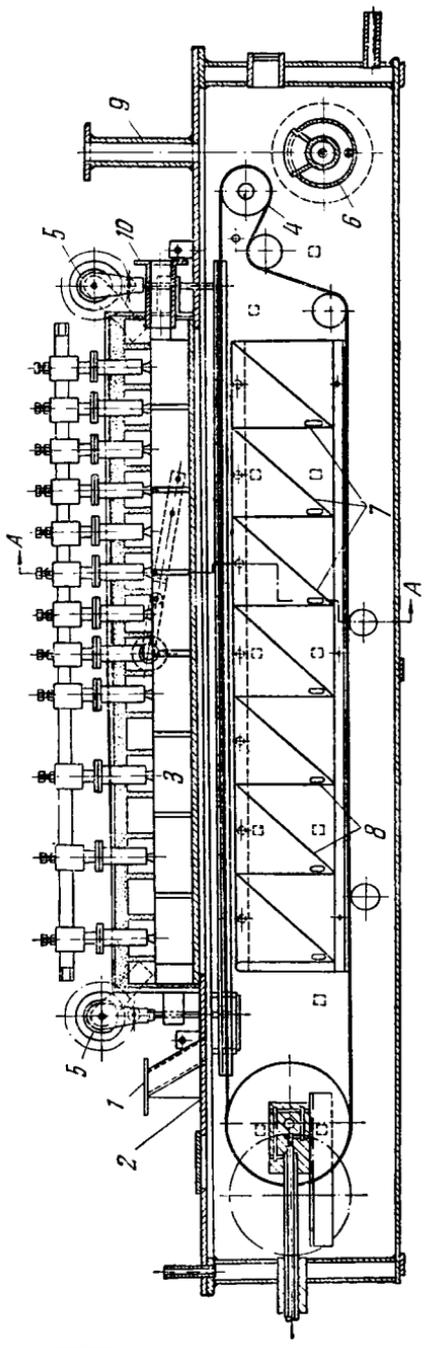


Рис. 53. Схема установки «Коул-Логс»
(вверху) с формирующим устройством
(внизу)

113 мм выложена огнеупорным кирпичом. Нижняя сторона этой камеры изготовлена из 10-мм пластин из нержавеющей стали, через которые тепло передается загрузке. Сверху камеры смонтированы 12 газовых горелок с индивидуальной регулировкой для установления желаемого температурного режима. Охлаждающие газы уходят в боры через патрубок 10. Их можно про-

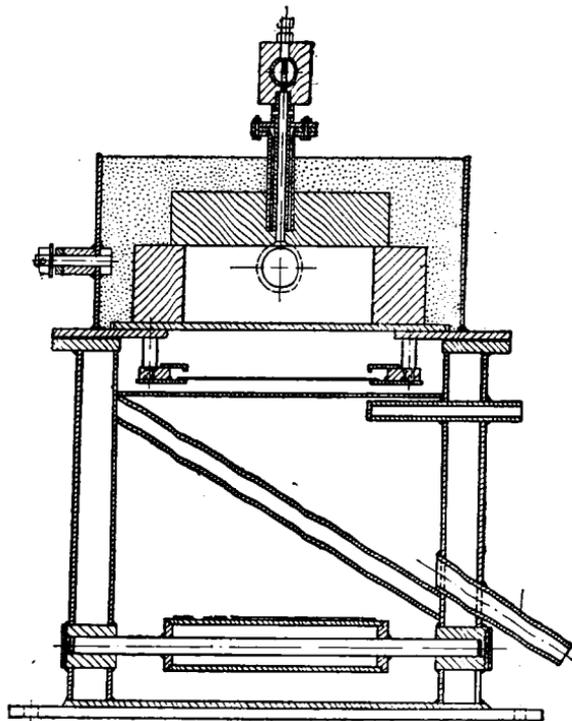


Рис. 54. Укрупненный поперечный разрез установки «Кул-Логс»

пускать через котел-утилизатор или использовать для сушки и предварительного подогрева угля перед загрузкой его в реторту.

Лента транспортера изготовлена из хромомолибденовой стальной проволоки, выдерживающей необходимую температуру. Лента поддерживается шестью роликами, которые вращаются в чугунных, охлаждаемых водой и смазываемых подшипниках. Натяжение ленты можно менять с помощью крайнего ролика.

Формующее устройство состоит из непрерывного червяка с переменным шагом, вращающегося со скоростью 3 об/мин внутри трубы диаметром 90 мм. Термообработанный материал, который падает с барабана 4 в шнек 6, продавливается через мунд-

штук. Мундштук окружен рубашкой, нагреваемой газовыми горелками, для предотвращения на этой стадии охлаждения угля ниже температуры его пластичности.

Другой конец шнека опирается на чугунный подшипник. Длину мундштука определяют экспериментально; в каждом отдельном случае она зависит от коэффициента трения металла о внутреннюю стенку мундштука и от требуемой плотности формованного полукокса.

Формование материала происходит под давлением, которое оказывает шнек при проталкивании пластического угля через мундштук. Под этим давлением рыхлый уголь спрессовывается в плотную массу, которая при охлаждении затвердевает. Полученный в результате такой обработки формованный полукокс обладает плотностью, мало отличающейся от плотности углей, из которых он получен.

Когда установка работает для производства бытового топлива, получаемый формованный полукокс дает выход летучих 10—15%, кажущийся удельный вес его составляет около единицы. При нагреве угля до более высокой температуры получается более пористый продукт, кажущийся удельный вес которого падает до 750 кг/м^3 . Полученный газ имеет высокую теплоту сгорания — 6700 ккал/м^3 , большая часть его идет на обогрев реторты. В промышленных условиях обогрев печей такого рода может быть переведен на доменный или генераторный газ.

Чем уже температурный интервал пластичности перерабатываемого угля, тем более точно должен быть отрегулирован процесс. По-видимому, нетрудно поддерживать необходимую температуру в камере обогрева и скорость движения ленты, обеспечивающие непрерывное и устойчивое производство формованного продукта. На описанной опытной установке исследовано получение бытового топлива, доменного топлива, а также порошковых добавок заданной степени отощенности к жирным шихтам.

Способ Института горючих ископаемых Академии наук СССР

Л. М. Саложников [94] формулирует два начала, которыми следует пользоваться для управления процесса пирогенетического превращения углей.

1. Плотный и прочный металлургический кокс образуется при возникновении между структурными элементами пластического угля достаточных химических связей, что обусловлено однородностью пластической угольной массы, определяемой степенью ее газопроницаемости.

2. На характер структурных связей в образующемся полукоксе можно влиять, изменяя продолжительность газонепроницаемого состояния пластического угля.

Выше указывалось, что для повышения спекаемости газовых и слабоспекающихся углей необходимо их быстро нагревать до температуры размятия. Л. М. Сапожников (ИГИ АН СССР) разработал процесс быстрого нагрева в предпластической стадии, формирования в пластическом состоянии и медленного прогрева полученных монолитов во избежание образования трещин [92—94]. Уголь измельчают в молотковой дробилке и быстро нагревают до режимной температуры. Размяченный уголь затем выдерживают при этой температуре. Во время выдерживания происходит термическая деструкция угольного вещества, из него выделяется часть продуктов разложения, а твердое угольное вещество диспергируется и превращается в размяченную пластическую массу.

В момент достижения наибольшей пластической однородности размяченные частицы под действием небольшого внешнего давления (несколько атмосфер) сближаются и происходит их склеивание в монолит. Уголь формируется в виде топливных изделий округлой формы. Стадия формирования может распадаться на ряд подстадий в зависимости от типа перерабатываемого угля.

Формование пластической угольной массы обуславливается преимущественно следующими факторами: температурой предварительного нагрева угля в первой стадии процесса, временем изотермической выдержки угля и наложением внешнего давления на подготовленный слой угля.

Хорошо спекающиеся газовые угли с толщиной пластического слоя 7 мм и выше обычно образуют однородную, хорошо формируемую пластическую массу. Однако при спекании в ней развивается избыточное давление паров и газов, что приводит к высокой пористости и малой прочности кокса. Нагревание до более высоких температур и увеличение времени выдерживания нагретых угольных зерен перед формированием позволяет осуществить более глубокое разложение угольного вещества перед формированием и понизить давление газа в формовках в стадии спекания.

Г. В. Сперанская [99] показала, что определение газопроницаемости формирующейся пластической угольной шихты позволяет найти оптимальные значения температуры формирования, времени выдерживания нагретого угля и давления формирования.

Формование пластической массы в известной степени продолжается и в следующей стадии процесса — спекания отформованных пластических изделий. В этой стадии производится дальнейший нагрев до окончания выделения большей части низкотемпературной смолы.

Итак, для получения прочного металлургического топлива спекшиеся топливные изделия должны пройти стадию медленной прокатки до средних температур, когда процесс получения формованного металлургического топлива заканчивается. Прокатка производится с незначительной скоростью. Общая продолжительность процесса получения формованного металлургического топлива составляет около трех часов.

Этот метод коксования включает в себя последовательные стадии, поддающиеся регулированию: предварительный нагрев угля до определенной температуры, выдерживание угля при этой температуре, наложение внешнего давления и формование топливных изделий, спекание отформованных изделий и прокатка их [98].

Быстрое предварительное нагревание, например, во взвешенном состоянии дает возможность перерабатывать угли пониженной спекаемости. Предварительный нагрев сильно вспучивающихся газовых углей до пластического состояния можно сочетать с небольшим окислением их воздухом при 250—300°. Это снижает вспучивание и позволяет получить более плотный кокс с высокой прочностью.

Формование под небольшим давлением (до 2 кг/см²) газового угля, подогретого до температуры размягчения, способствует получению плотного кокса. Формование прижимает угольные зерна друг к другу и приводит к более полному использованию плавкой части угля, образующейся в пластическом состоянии, что дает возможность использовать для получения кокса угли с пониженной спекаемостью.

По данным П. З. Шубеко оптимальная скорость нагрева изделий в период пластичности составляет 3—4 град/мин. При 500—550°, когда происходят интенсивные структурные изменения, приводящие к резкой усадке материала, нагревание следует задерживать на 10—30 мин. в зависимости от размеров изделий.

В стадии прокатки свыше 500—550° нагрев следует вести с пониженной скоростью (1—2 град/мин). Конечная температура прокатки формованных изделий составляет около 700°, но при необходимости она может быть повышена.

Из газовых углей в этих условиях получают плотные и прочные изделия, же дающие трещин при дальнейшей прокатке и выделяющие при 1000° всего 2—3% летучих веществ.

Основными средствами управления процессом являются режимная температура и длительность его выдерживания при этой температуре.

Если режимная температура формования будет близкой к температуре затвердевания угля, а выдерживание его при этой температуре достаточным, то разложение угольного вещества окажется глубоким, а диспергирование его частиц значительным;

образующиеся в результате разложения пары смол и углеводородные газы успеют выделиться из угольных зерен. Быстрое повышение температуры в стадии спекания в этом случае не приводит к вспучиванию топливных изделий. Отформованный кокс в стадии спекания надо выдерживать при температуре, не превышающей начало образования трещин для углей данного типа.

Предварительный нагрев угля и его формование по этому методу протекают в течение 2—3 мин. Стадии спекания и прокаливания требуют значительно больше времени, так как при этом необходимо относительно медленное повышение температуры. При обычном нагреве формовок скорость подъема температуры нельзя повышать вследствие малой теплопроводности и создания значительного градиента температур по их сечению.

Как показал Ю. Б. Тютюнников [111], быстрый и равномерный прогрев всего объема формовок может быть обеспечен путем применения токов высокой частоты (диэлектрический нагрев). Установлено, что таким путем нагрев угольных формовок от 380 до 480° происходит равномерно без перепада температуры по их сечению. Давление формования в пределах от 2 до 3 кг/см² является оптимальным при скоростном диэлектрическом спекании угольных формовок. Применение токов высокой частоты позволяет нагревать формовки со скоростью 33—40° С/мин, причем они имеют большую механическую прочность, чем формовки, нагретые обычным тепловым способом со скоростью 2—3° С/мин.

На опытной установке в ИГИ описанным методом, по данным авторов, получен высококачественный формованный металлургический кокс из газовых и длиннопламенных углей Донбасса, Кузбасса, Буреи, Иркутского бассейна, а также из других типов углей Кузбасса, Караганды, Донбасса и других угольных месторождений, которые считались непригодными для самостоятельного коксования.

В 1955—1957 гг. на Харьковском опытном коксохимическом заводе была построена, пущена в ход и освоена полузаводская установка на 200 кг/час, включающая все основные стадии процесса. Из газовых и длиннопламенных углей с толщиной пластического слоя 7—10 мм был получен формованный кокс с остатком в барабане Сундгрена 345 кг. Выход кокса класса >40 мм при испытании в микум-барабане доходил до 87%. Проводящиеся в настоящее время работы позволили улучшить прессоформирующие устройства и тем самым уменьшить шероховатость поверхности формованных изделий. Это приводит к увеличению барабанного остатка, поскольку при механических воздействиях изделия не раскалываются на части, а только

окапываются с поверхности. При нагреве до 1400° и выше в формованном коксе не образуется трещин и прочность его возрастает. Полученные на опытной установке смола, сырой бензол и газ соответствовали обычным продуктам коксохимического производства.

Результаты работы опытной установки показали принципиальную возможность осуществления данного метода непрерывного процесса коксования газовых углей. Перспективы его внедрения определяются преимущественно соответствующим аппаратным оформлением. В настоящее время закончено строительство и начата эксплуатация опытно-промышленной установки производительностью 10 т формованного кокса в час.

Описанный метод представляет большой интерес, открывая, в частности, возможность получения металлургического кокса из слабоспекающихся длиннопламенных углей Черемховского месторождения, что в сочетании с крупными запасами железной руды дает необходимые предпосылки для развития черной металлургии в Иркутской области.

Внедрением этого метода в Кузнецком бассейне может быть решена задача использования для нужд металлургии значительных ресурсов газовых углей пониженной спекаемости (толщина пластического слоя 10—11 мм).

Глава VII

ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ТЕРМООБРАБОТКА И БРИКЕТИРОВАНИЕ ПЕРЕД КОКСОВАНИЕМ

При осуществлении предварительной термической подготовки угля весьма важным является правильный выбор конечной температуры процесса первой ступени, т. е. завершения его на стадии полукоксования или коксования. Как будет показано ниже, например, метод, освоенный в Австралии, предусматривает проведение на первой стадии высокотемпературного коксования. Если термическая подготовка заканчивается на стадии полукоксования, то полученный полукокс во второй стадии термической переработки дает большой выход летучих веществ, что осложняет процесс производства кокса и понижает его прочность. Чем глубже происходит термическое разложение на первой ступени, тем выше прочность получаемого кокса; обычно одновременно с этим увеличивается износ прессов для брикетирования. Преимуществом проведения низкотемпературного процесса в первой стадии является наличие освоенных высокопроизводительных конструкций печей для полукоксования бурых углей [96].

Конечная температура полукоксования определяет прочность зерен полукокса, величину усадки этих зерен при последующем коксовании, а также прочность связи, возникающей при соприкосновении зерен со связующим и спекающимся углем.

Исследования показали, что существует известный оптимум выхода летучих веществ в полукоксе, при котором получают наиболее прочные коксбрикеты.

В трехступенчатых методах большую роль играет количество связующего, которое определяется количеством и качеством добавляемого спекающегося угля и гранулометрическим составом полукокса (кокса). Чем больше в шихте спекающегося угля, тем меньше требуется связующего. Уменьшить же количество связующего можно только до известных пределов, чтобы не ухудшалась прочность сырых брикетов. При избытке связующего шихта получается жирной, а брикеты из нее вспученные, слипшиеся.

1. ТЕРМОБРИКЕТИРОВАНИЕ, КОКСОВАНИЕ

Рациональное решение задачи улучшения качества коксобрикета заключается в том, чтобы в процессе брикетирования обеспечить термическую стойкость брикета. Для придания брикету термостойкости большое значение имеет температура процесса брикетирования.

Как показали исследования Ньюмена [222], нагрев обеспечивает пластическую деформацию частиц угля, вследствие чего происходит лучшее их сцепление; уменьшается количество воздуха в порах брикета и, следовательно, снижаются разрывающие усилия при его охлаждении; уменьшается вязкость содержащейся в угле воды, и повышается ее текучесть.

Исследование, проведенное Б. М. Злобинским [44] в Московском институте стали, показало, что при одинаковых прочих параметрах брикетирования механические свойства торфяного брикета зависят от температуры нагрева матрицы и брикетируемого торфа. При коксовании этого брикета происходят потеря в весе и уменьшение его объема; установлено, что чем ближе объемный вес коксобрикета к объемному весу исходного торфобрикета, тем механические свойства коксобрикета выше. Отношение объемных весов брикетов находится в прямой зависимости от режима брикетирования (давления и температуры).

Проведенные в Институте стали исследования сильно метаморфизованных бурых углей одного из дальневосточных месторождений показали возможность получения из них коксобрикета высокой механической прочности, что было достигнуто применением термобрикетирувания.

При термобрикетирувании необходим нагрев не только угля, но и матрицы. Температура матрицы должна быть несколько выше температуры угля, чтобы масса брикетируемого угля не отдавала тепло, а получала бы его. Средняя температура брикетирования должна быть ниже 200° , чтобы не происходило выделения летучих веществ угля.

Вследствие применения нагрева начальное содержание влаги в массе угля значительно ниже, чем при обычном брикетировании. В процессе термобрикетирувания содержание влаги еще более снижается, так что в итоге в термобрикете содержится влаги в 3—4 раза меньше, чем в обычном брикете. Это устраняет необходимость длительной постепенной сушки брикета перед коксованием (как это осуществляется в практике завода Лаухгаммер).

Коксование брикета требует замедленного подъема температуры. До температуры $350\text{--}450^{\circ}$ нагрев должен осуществляться со скоростью не более $1,5\text{--}2^{\circ}$ в минуту, затем она может быть повышена до $3,5\text{--}4^{\circ}$ в минуту. Снижение скорости нагрева при

температурах выше 300° до 1° в минуту ведет к упрочнению коксобрикета.

Начиная с 1954 г. в Московском институте стали ведется лабораторное исследование возможности получения кокса из бурых углей Восточной Сибири — райчихинских и канско-ачинских Ирша-Бородинского и Назаровского месторождений [86].

Райчихинский уголь относится к старым бурым углям, но содержит более 35% гуминовых кислот и гуматов. Ирша-бородинский бурый уголь относится к старым бурым углям с зольностью около 5% и высокой основностью ($\text{CaO} : \text{SiO}_2 = 2,4$). Назаровский бурый уголь имеет среднюю зольность около 10% и меньшую основность ($\text{CaO} : \text{SiO}_2 = 0,6$).

Исследовался процесс получения буроугольного коксобрикета, состоявший из сушки угля, дробления, термобрикетирувания и последующего коксования.

Исследование влияния влажности угля на качество брикета и коксобрикета из райчихинского бурого угля показало, что высокая и очень низкая влажность приводят к ухудшению механических свойств кокса. Оптимальная влажность равна 7,3%, причем колебания в ту или другую сторону не должны превышать 0,2—0,3%.

Исследование влияния крупности угля на качество коксобрикетов показало необходимость измельчения его до класса ниже 1 мм. Было выявлено, что имеет значение не только верхний предел величины зерен, но и распределение брикетируемой шихты по отдельным классам дисперсности.

Процесс термобрикетирувания отличается от процесса обычного брикетирувания тем, что и матрица для прессования и уголь подвергаются регламентированному нагреву; при этом нагрев матрицы должен быть несколько выше, чем угля. Необходимая средняя температура нагрева для получения механически прочных коксобрикетов составляет от 130 до 180° , в зависимости от диаметра брикета и давления прессования. Необходимая прочность коксобрикетов обеспечивается при давлении прессования не ниже 1500 кг/см^2 , общая длительность процесса коксования брикетов равна 6,5 час.

В результате исследований предложена технологическая схема получения механически прочных коксобрикетов из райчихинских бурых углей без добавок и связующего. Полученные по этой схеме в лабораторных условиях коксобрикеты характеризуются следующими показателями: влага 0,25%, зола 15%, сера 0,4%, выход летучих веществ 0,35%, теплота сгорания 7000 ккал/кг , сопротивление сжатию $150\text{—}200 \text{ кг/см}^2$, сопротивление истиранию по отношению к каменноугольному коксу — 90%, пористость — 25%.

Дальнейшие исследования позволили разработать другую

схему производства буроугольного кокса, по которой удалось получить механически прочный формованный кокс из райчихинских, назаровских и ирша-бородинских углей при давлении прессования 1000—1500 кг/см². Допустимые пределы влажности для райчихинского угля составили 4—17% против 5—10% для назаровских и ирша-бородинских углей. По качеству и химическому составу формованный кокс аналогичен коксобрикетам из тех же углей, однако пористость его равна 35%.

По этой технологии был получен прочный формованный кокс из смеси райчихинского и 50% жирных или газовых буреинских углей. Бурый уголь дробится до 0,85—0 мм, каменный уголь до 0,21—0 мм.

Е. М. Тайц и И. А. Андреева [103] считают целесообразным подвергать прессованию уголь, нагретый до температуры разложения; получающиеся при этом термобрикеты затем нагреваются до получения высокотемпературного кокса.

Возможность получения прочных коксобрикетов при относительно низком давлении (в пределах 200—300 кг/см²) объясняется тем, что в данном случае в интервале, когда начинается усадка зерен, нет опасности нарушения контакта между ними, как при коксовании заранее спрессованных брикетов; благодаря приложению давления в момент наибольшей реакционной способности зерен последние, сближаясь, взаимодействуют по поверхностям соприкосновения; при дальнейшей прокатке прочность лишь увеличивается. Прочность коксобрикетов заметно возрастает при некоторой выдержке брикета под давлением.

Обработка органическими жидкостями, термобрикетиование

При переработке австралийских бурых углей был разработан метод, основанный на предварительном размягчении их в пиридине или нефти [153]. Характеристика исследованных углей представлена в табл. 22.

Таблица 22
ТЕХНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ АВСТРАЛИЙСКИХ БУРЫХ УГЛЕЙ

Уголь	Характеристика углей, %			
	влага	зола	сера	выход летучих веществ
A	48,2	2,2	0,2	26,3
B	31,5	3,6	0,9	33,2
C	3,1	19,6	8,8	41,2
D	17,5	13,8	0,6	34,9

Предварительная термическая обработка угля перед брикетированием не дала удовлетворительных результатов: сырые

брикеты оказались достаточно прочными, но полукокс из них был непрочный.

Применение неравномерного подъема температуры при коксовании позволило получить механически прочный, твердый кокс с малым количеством трещин.

В результате полукоксования брикетов, полученных при давлении прессования 2400 кг/см^2 , из нагретого угля получен прочный кусковой продукт без трещин.

Авторы исследования показывают, что можно получить удовлетворительный по качеству кокс из брикетов, изготовленных при значительно меньшем давлении. Высокое давление может оказать даже вредное воздействие в том случае, если оно не соответствует остальным параметрам брикетирования. Так, для угля С при влажности 3,1% и нагреве до 75° давление прессования 800 кг/см^2 дало лучшие результаты, чем давление 2400 кг/см^2 . Из режимов нагрева 2, 4, 6 и 8 град/мин оптимальные результаты были получены при скорости нагрева 6 град/мин.

При брикетировании твердого угля для достижения необходимого уплотнения брикета уголь подвергается предварительной обработке органическими жидкостями. Для размягчения угля производилось выдерживание его в пиридине в течение 3—70 час. (за это время уголь поглощал 0,1—0,4% пиридина); брикеты, изготовленные под давлением 800 кг/см^2 при температуре 80° из угля, предварительно обработанного пиридином, оказались в несколько раз прочнее, чем брикеты из неразмягченного угля. Такой же эффект дает предварительная обработка угля подогретой нефтью.

2. ТЕРМООБРАБОТКА, СМЕШЕНИЕ СО СВЯЗУЮЩИМ, БРИКЕТИРОВАНИЕ, КОКСОВАНИЕ

Предварительной термообработке углей перед брикетированием посвящено значительное количество работ. Брикетирование полукокса требует меньше связующего, чем соответствующее количество неспекающегося угля, при этом необходимое количество связующего получается в процессе полукоксования.

При брикетировании полукокса, кроме связующего, в шихту добавляют спекающийся уголь. Пек является связующим при брикетировании, а спекающийся уголь обеспечивает прочность брикета при коксовании. При правильном выборе количества добавляемого пека и спекающегося угля брикеты обладают достаточной прочностью и при коксовании их может быть осуществлен быстрый нагрев.

Ф. Фишер и его сотрудники нашли, что полукоксовая смола может быть использована для связывания зерен некоксующе-

гося угля. Применяемая смола перед употреблением должна быть продута воздухом. Таким путем был получен прочный кокс с однородной структурой. При этом улавливается от 80 до 87% добавляемой смолы. Однако этот процесс, интересный с углехимической точки зрения, не вышел из стадии экспериментов [170].

Вебер в качестве связующего применял сульфитные щелюки, а в дальнейшем перешел к частичному удалению кислорода из неспекающихся углей. Например, верхнесилезский уголь с выходом летучих 35%, измельченный до 2 мм, нагревали до 250—300° в потоке газа, не содержащего кислорода; при этом выделялись конституционная вода и CO₂. Твердый остаток смешивали затем с пеком (температура размягчения выше 65°) и быстро нагревали до обычной температуры полукоксования. Преимущество трехступенчатого процесса состоит в том, что получаемый продукт не зависит от физических свойств и коксуетности угля.

Кегель [198] показал, что при температуре полукоксования 400—450° получается материал, который при увлажнении до 10% хорошо брикетируется. Эти наблюдения легли в основу трехступенчатого процесса Р. Бубе [155], схема которого представлена на рис. 55. Сухой бурый уголь перерабатывают в полукоксовой печи Борзиг-Гейсена с таким расчетом, чтобы в полукоксе оставалось от 1 до 2% смолы. Полукокс измельчают до класса 1 мм, увлажняют 10% воды и брикетируют в штемпельном прессе. Полученные брикеты подвергают термообработке до температуры 800—900°. Преимуществом этого, как и любого другого трехступенчатого процесса, является возможность использования первичной смолы угля. Однако разделение процессов полукоксования и коксования удорожает производство, а также требует дополнительного расхода тепла для вторичного разогрева охлаждаемого полукокса.

По этому способу проводилась опытная переработка среднегерманского бурого угля с высоким содержанием золы и серы. В настоящее время проводятся лабораторные испытания с малозольным и малосернистым нидерлаузицким бурым углем.

Представляет интерес сделанная Тербеком [251] попытка решить задачу простого получения брикетоккса, пригодного для металлургии, с отдачей газа на сторону и при малой затрате тепла. На рис. 56 представлена схема процесса.

Угольная пыль поступает через отверстие 5 в газификатор 1; большая часть ее после термообработки вместе с горячим газом, образовавшимся при частичной газификации, по трубопроводу 6 поступает в циклон 2 и после отделения газа, охлаждения и добавки соответствующего связующего, попадает в брикетный пресс 3 по трубопроводу 7. Полученные брикеты поступают через отверстие 8 в печь для прокалики 4, из нижней части которой

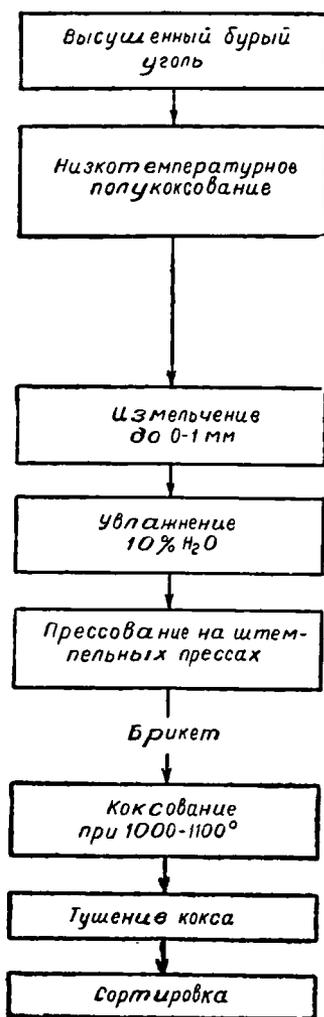


Рис. 55. Сема коксования по методу Бубе

9 удаляются в виде прочных брикеток-коксов. Отводимый из верхней части циклона 10 газ подается через отверстие 11 в печь для прокалики, где используется большая часть его физического тепла. Затем газ отводится через штуцер 12, подвергается охлаждению и обеспыливанию, после чего частично по газопроводу 13 возвращается в нижнюю часть газификатора 15, а избыток газа подается потребителю 14.

По этому способу для газификации расходуется лишь небольшая часть угля с целью получить количество горячего газа, физического тепла которого будет достаточно для прокалики брикетов. Газ, полученный в газификаторе, может быть отдан на сторону после выполнения им в данной установке функции рециркуляционного газа. Эта функция двойка — участие в процессе газификации в газификаторе 1 и тепловое воздействие в печи для прокалики брикетов 4. Путем предварительного сжигания газа перед газификатором легко регулируется температура и скорость процесса газификации дутьем, подаваемым по трубопроводу 16.

Таким образом, данный способ получения формованного кокса из плохokokсующихся углей отличается тем, что уголь в виде мелочи или пыли подвергают частичной газификации во взвешенном состоянии, затем брикетируют и полученные брикеты прокаливают. Смесь газов обеих ступеней термической обработки пропускают через печь для прокалики брикетов, а затем используют частично как отопительный газ в газификаторе, а частично отдают на сторону. Частичная газификация может осуществляться с подводом пара.

Возможности аппаратного оформления этого процесса пока недостаточно ясны.

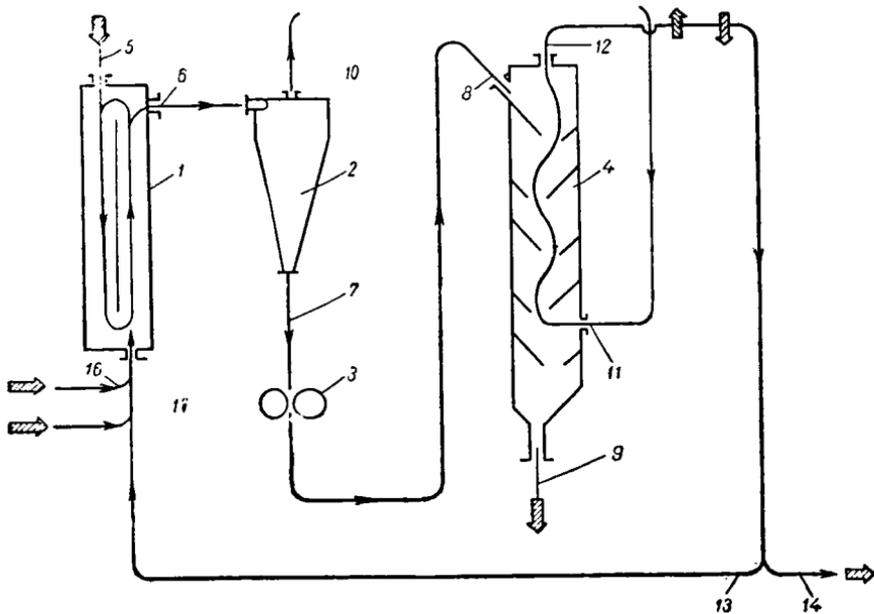


Рис. 56. Схема процесса получения брикетоккокса

Процесс Дидье

В основу процесса Дидье [257] положен метод «Карбокол», разработанный в США.

Измельченный уголь подвергают полукоксованию в реторте с внешним обогревом при температуре $440-650^{\circ}$ с тем, чтобы добиться максимального выхода смолы и довести выход летучих из полукокса до 17—11%. Затем полукокск смешивают с 12% (по весу) пека низкотемпературной смолы, брикетируют в вальцовых прессах и коксуют в камерных печах (рис. 57). По другому варианту брикеты подвергают предварительной термообработке при высокой температуре. Процесс был успешно осуществлен, но цена на получаемый металлургический кокс оказалась высокой.

По данным Тау, процесс Дидье с успехом применялся в промышленном масштабе. Коксовые брикеты, приготовленные из югославского лигнита, длительный период использовались в доменных печах и проявили себя лучше, чем металлургический кокс.

Удовлетворительные результаты могут быть получены и со слабоспекающимися каменными углями. Уголь, измельченный ни-

же 50 мм, подвергают полукоксованию при 550—600°. Полукоксы непрерывно разгружают, охлаждают, дробят и смешивают с 5—8% пека низкотемпературной смолы и с 10—15% коксующегося угля. Полученную шихту брикетируют под давлением от 100 до 200 атм. Далее брикеты коксуют при температуре от 900 до 1000° в печах непрерывного или периодического действия. Свойства получаемого кокса определяются температурным режимом на обеих стадиях и периодом коксования.

Подходящим сырьем является бурый уголь или неспекающиеся каменные угли при условии, что сырье дает выходы смолы, достаточные для получения нужного количества пека. Гранулообразователя не имеет решающего значения, однако желательным является выделение класса 3—6 мм для уменьшения содержания золы. Влажность даже выше 30% не играет роли, поскольку она удаляется в первой стадии, однако высокое содержание влаги делает необходимой предварительную термическую сушку перед полукоксованием.

В реторту для полукоксования подается очищенный газ для улучшения теплопередачи и предохранения смолы от разложения. Смесь измельченного полукокса, пека и коксующегося угля нагревается глухим паром до 105° и при этой температуре поступает в вальцовые прессы. Добавка 10% коксующихся углей снижает вдвое расход пека, а при переработке бурых углей способствует получению однородного по структуре кокса с желаемой плотностью. Применяемые реторты для коксования отличаются от обычных реторт газовых заводов только устройством для циркуляции очищенного газа через камеры (как это предусмотрено в печах для полукоксования).

Полукоксы, получаемый из верхнесилезских углей, содержит 8,1—9,7% золы; выход летучих составляет 5,7—7,7%. Сопротивление раздавливанию сырых брикетов 19—54 кг/см², влажность их 4,6—5,2%. Выход кокса на сухой брикет 80,8—84,7%. В результате барабанного испытания остаток кокса составляет 90—92%.

Опытные доменные плавки проводились в доменной печи диаметром 2,4 м, работавшей нормально во все время проведения испытаний. Кокс из бурого угля содержал 18—20% золы, 1,5—2% серы и 1,3% летучих.

Обычная практика коксования для переработки 1000 т угля в сутки требует батарей в 38 современных печей с поверхностью обогрева 108 м². Камеры полукоксования, применяемые для трехступенчатого процесса при длине 6 м и выходе 9 м, также обладают поверхностью нагрева 108 м² на камеру. Для переработки 1000 т угля требуется полукоксовая установка из 16 непрерывно действующих камер. Это можно объяснить лучшим использованием тепла в установке полукоксования, а также применением

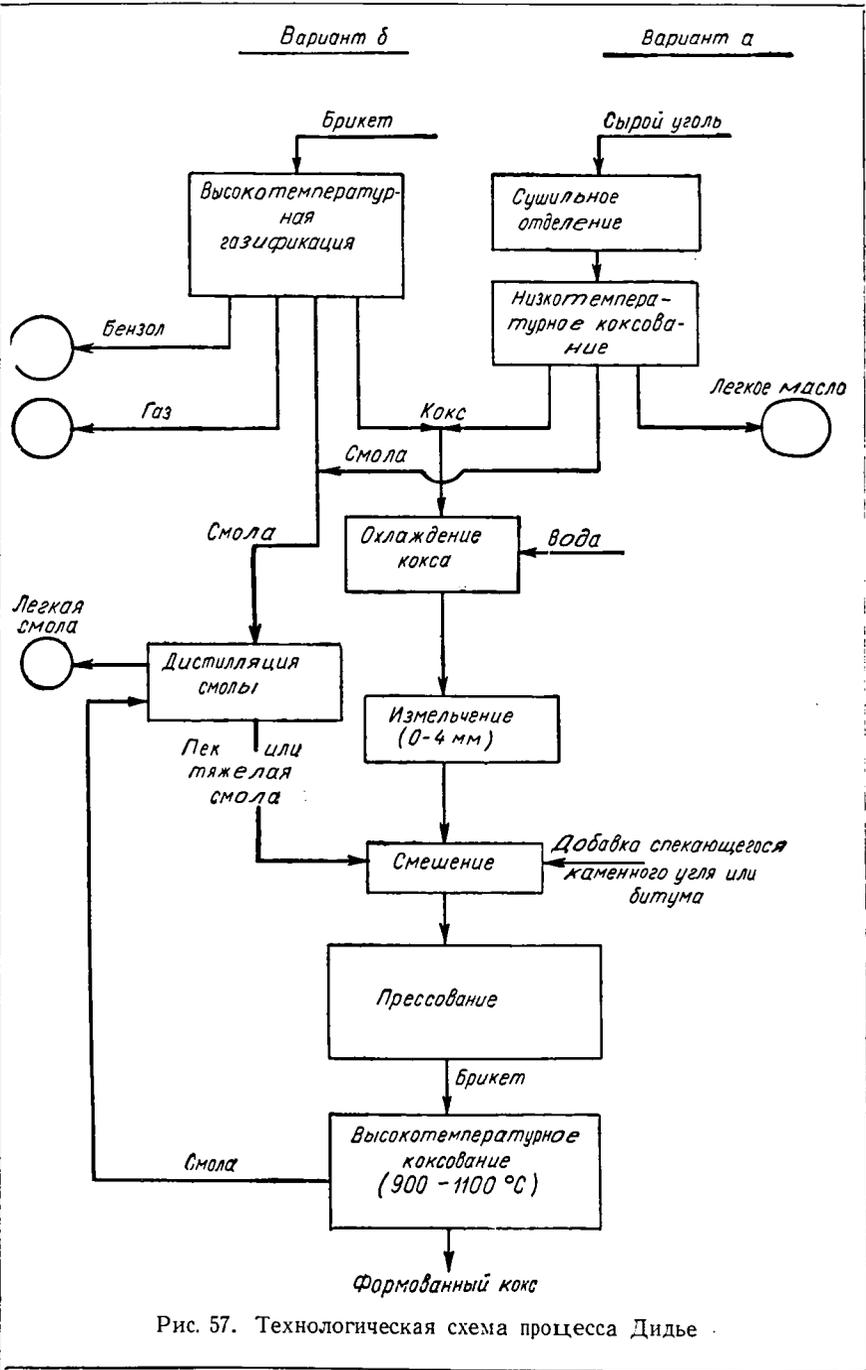


Рис. 57. Технологическая схема процесса Дидди

внутреннего обогрева. На ступени высокотемпературного коксования для получения 750 т кокса в сутки требуется 22 камеры (переработка 42 т в сутки брикетов на камеру). Таким образом, суммарно требуются те же 38 печей, что и при коксовой установке. Суммарный расход тепла на трехступенчатый процесс 600—650 ккал/кг против 520—560 ккал/кг для обычных коксовых установок. Материальный и тепловой балансы трехступенчатого процесса показаны графически на рис. 58 и 59. При промышленном внедрении трехступенчатого процесса стоимость получаемого кокса в условиях Германии будет только незначительно выше, чем при обычном коксовании. Процесс этот в Германии начали применять во время войны для верхнесилезских углей.

Экономичность этого процесса может быть повышена путем проведения полукоксования в псевдооживленном состоянии и использования принципа внутреннего обогрева в конечной стадии процесса.

Согласно способу Дидье в первой стадии уголь подвергают не полукоксованию, а коксованию.

Процесс Угольного института Японии

Угольный исследовательский институт СRI в Токио в последнее десятилетие разработал метод получения металлургического кокса из неспекающихся углей [137]. Уголь, измельченный до класса меньше 5 мм, подвергается полукоксованию в псевдооживленном слое при температуре 550—600°. Полученный полукокс с выходом летучих 10—15% смешивают с 7—8% пека или асфальта, к смеси добавляют 10—15% коксующегося угля, обрабатывают ее паром и брикетируют. Полученные сферические брикеты подвергают быстрому коксованию до температуры 1000—1050° в вертикальной камерной печи непрерывного действия.

На рис. 60 представлена схема опытной установки для полукоксования в псевдооживленном слое неспекающегося бирманского угля Калева. Сырой уголь класса 0—5 мм через скиповый подъемник 1 поступает в бункер 2, откуда шнековым питателем подается в камеру сушки 5 печи полукоксования 4. Уголь сушится в псевдооживленном слое при 550° газом, проходящим из камеры коксования 6 через перфорированную стальную плиту. Сухой уголь поступает в камеру коксования через сливную трубу 7, где образует второй псевдооживленный слой за счет газа, нагретого до 1200°, поднимающегося из камеры сгорания 8, где сжигается нефть. Полукокс удаляется из печи по трубопроводу 9, а парогазовая смесь, пройдя циклонный пылеотделитель 10, скруббер 11, газодувкой 12, выбрасывается в атмосферу через дымовую трубу 13. Максимальный перепад температуры в слое каждой камеры не превышает 40—50°; продолжительность под-

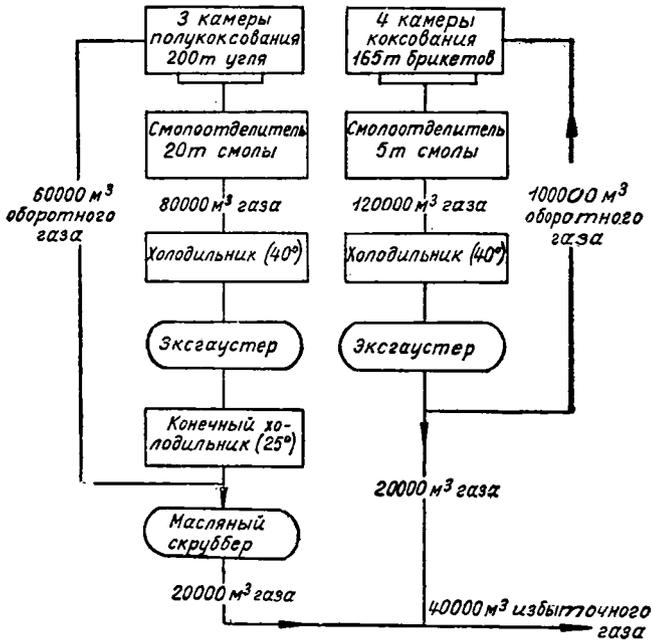


Рис. 58. Материальный баланс трехступенчатого процесса

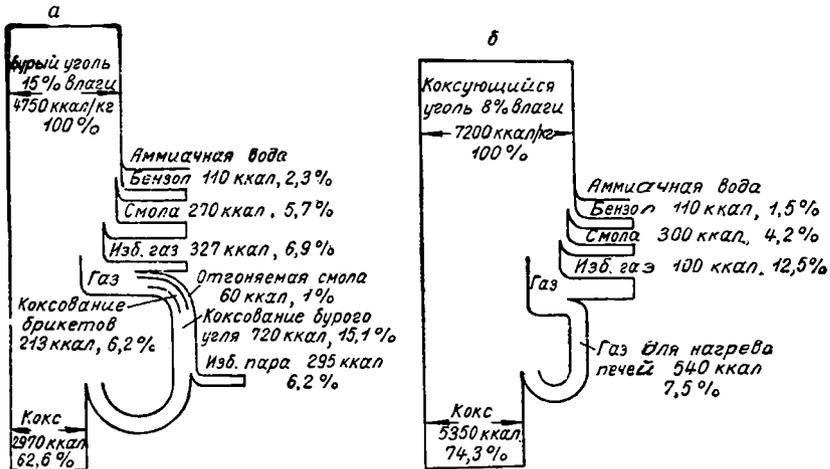


Рис. 59. Тепловой баланс:

а — трехступенчатого процесса; б — обычного коксования

готовки к коксованию составляет 5—10 мин. Производительность опытной установки — 6 т угля в сутки.

Поступающая на брикетирование смесь полукокса, коксующегося угля и пека поддерживается при температуре 100—120°. Брикетирование осуществляется в вальцовых прессах с давлением прессования 120—150 кг/см².

Брикеты подвергаются коксованию в вертикальной камерной печи с комбинированным внешним и внутренним обогревом.

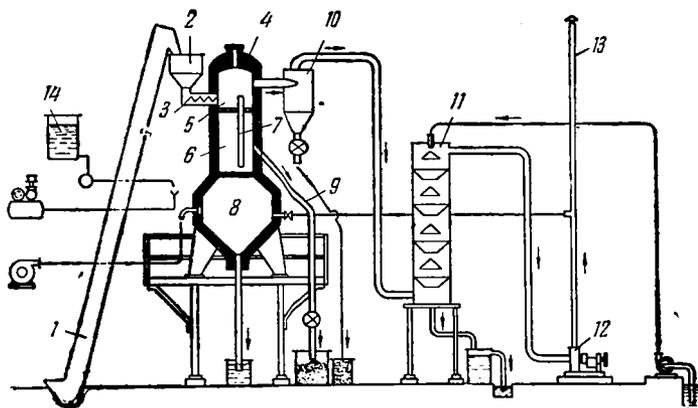


Рис. 60. Схема установки для полукоксования в кипящем слое:

1 — скиповый подъемник; 2 — бункер сырого угля; 3 — шнековый питатель; 4 — печь полукоксования в кипящем слое; 5 — камера сушки угля; 6 — камера полукоксования; 7 — переточная труба для сухого угля; 8 — камера горения; 9 — труба для выгрузки полукокса; 10 — циклонный сепаратор; 11 — скруббер с водяным орошением; 12 — газодувка; 13 — труба для выхлопа продуктов горения; 14 — бак для горючего

Продолжительность коксования 2 часа, полученный кокс охлаждается в нижней части печи в течение часа.

Полученный брикетокс характеризуется такими показателями: действительный удельный вес 1,8—1,85; пористость 43—51%; влажность 3,2—4,3%; теплота сгорания 6370—6630 ккал/кг. По данным авторов, механическая прочность брикетокса удовлетворяет требованиям металлургии.

Теплота сгорания газа полукоксования составляет 5800 ккал/м³, газа коксования 3000 ккал/м³.

Процесс Баумко [144]

Уголь предварительно нагревают до 800° (после чего он целиком теряет свою спекаемость). Далее он служит инертной основой для производства брикетов, причем в качестве связующего

используют пек и коксующийся уголь. Пек служит связующим на холоде, а уголь цементирует частицы при высоких температурах. При правильном выборе соотношения пека к коксующемуся углю брикеты не будут размягчаться в температурном интервале пластичности коксующегося угля и процесс нагрева может проходить с большой скоростью. Таким образом, сырые брикеты загружают в реторту, где они вступают в контакт с газами, нагретыми до 1200°. Как и в процессе БТ, быстрый нагрев приводит к расширению температурного интервала пластичности добавляемого коксующегося угля.

Процесс предназначен для переработки весьма плохо спекающихся и неспекающихся углей; он протекает в три стадии, причем 10% коксующегося угля подготавливается между первой и третьей стадиями. Схема процесса представлена на рис. 61. В первой стадии уголь класса 0—3 мм с влажностью не выше 12—15% подвергают полукоксованию в механической печи, имеющей ряд тарелок. Уголь пересыпается с тарелки на тарелку и подвергается обработке теплом поднимающихся нагретых газов. К получаемому в виде порошка полукоксу примешивают 10% коксующегося угля и до 10% пека. Смесь полукокса, угля и пека брикетируют, а затем брикеты поступают в вертикальную камерную печь. Продукты горения из отопительной системы проходят и через слой брикетов. Таким образом, в этой печи одновременно осуществлен внешний и внутренний обогревы. Нижняя зона печи используется для тушения кокса холодным газом подобно тому, как это осуществлено в печи NFC. Газ, уходящий из печи при температуре 700—800°, используется для обогрева печи полукоксования. Смесь сырого газа обеих стадий процесса проходит пылеотделитель и установку улавливания, где физическое тепло газа используется для перегонки смолы и получения из нее пека, необходимого для брикетирования.

После охлаждения газа из него улавливается бензол. Аммиак в процессе Баумко почти не образуется. Выход газа велик, но теплота сгорания его составляет только 1250 ккал/м³. Применяя подогрев отопительного газа и воздуха, можно значительно повысить теплоту сгорания газа.

При переработке антрацитов или тощих углей отпадает необходимость в первой стадии процесса, поскольку выход летучих из них весьма низок. Эти угли не дают пека для использования его как связующего, и при переработке их в шихту добавляют нефтяные остатки.

Время пребывания угля и брикетов соответственно в печах первой и третьей стадий составляет по одному часу. Это характеризует большую производительность установки. Отсюда более низкие (~на 25%) капиталовложения, чем в установке коксования обычного типа. Однако эксплуатационные расходы при про-

цессе Баумко, несомненно, должны быть выше, чем при обычном коксовании.

Интересным приложением этого процесса является коксование антрацита класса < 1 мм. Зольность антрацита предварительно была снижена с 25 до 12% при помощи процесса Конвертоль (разделение тяжелым маслом). Смоченный маслом антрацит брикетируют с добавкой пека. Продукты коксования возвращаются в цикл, пек используют в качестве связующего, а масло применя-

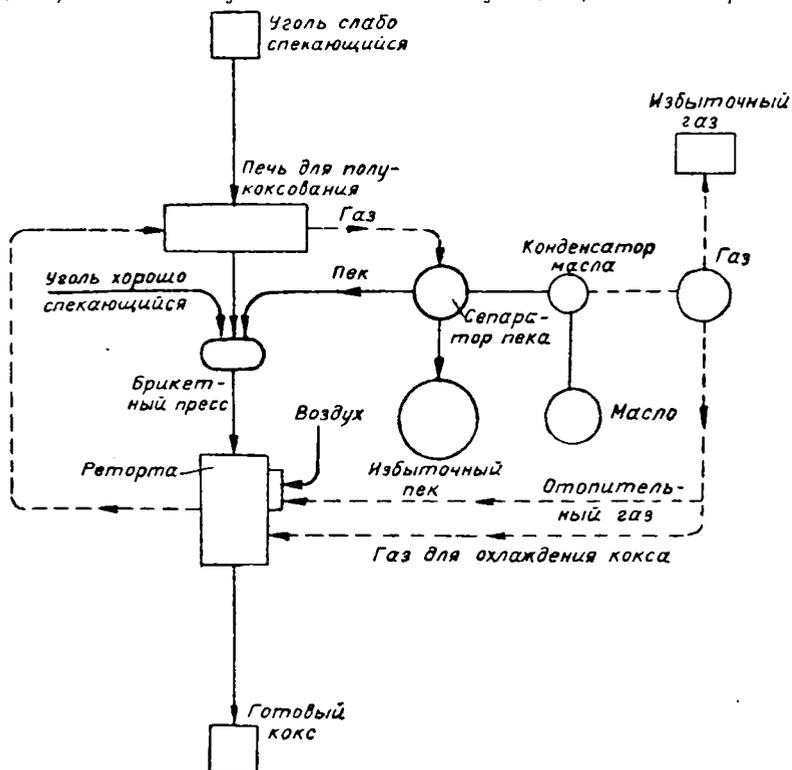


Рис. 61. Технологическая схема процесса Баумко

ют в процессе Конвертоль. В процессе Баумко расходуется около 3% масла и 7—8% смолы.

Полной оценки процесса пока нет, поскольку данные о работе промышленной установки еще не получены. Процессы NFC и Баумко имеют много общего. Однако, если в первом используют слабо коксующиеся угли, во втором для увеличения коксуетности брикетов до нужного предела добавляется коксующийся уголь. Получаемый продукт обладает постоянными размерами, высокой механической прочностью. Выход летучих из брикет-

кокса может быть изменен путем варьирования количества газа-теплоносителя. Преимуществом процесса Баумко является его непрерывность, а также гибкость в эксплуатации. Трехстадийный синхронизированный процесс представляется усложненным по сравнению с обычным коксованием. На собственные нужды процесса используется около 35% от производимого газа. Есть основания считать, что по данному методу может быть получен удовлетворительный по качеству металлургический кокс.

Процесс Баумко уже используется для получения металлургического топлива из югославского лигнита и из верхнесилезских углей.

В Австралии разработан процесс получения металлургического кокса из бурого угля [153]. Уголь подвергают коксованию при температуре 800° с тем, чтобы выход летучих в коксе не превышал 2% и была достигнута предельная усадка угля. Затем кокс брикетируют при давлении до 360 кг/см² в смеси с пеком или смолой. Для лучшего смешения кокс дробят; для достижения необходимой текучести смолу и пек подогревают. Температура матрицы при брикетировании принимается несколько ниже, чем температура подогрева пека (для охлаждения шихты до начала затвердевания). Полученные брикеты подвергают выдержке в течение 2 час. при температуре 150—200°, а затем термообработке при 550°. Как показали опыты, именно при температуре около 550° получается максимальное количество брикетов кондиционного качества.

Были исследованы угли пяти австралийских месторождений (табл. 23).

Таблица 23
ТЕХНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ АВСТРАЛИЙСКИХ УГЛЕЙ

Уголь место- рождения	Характеристика углей, %			
	влага	зола	выход летучих веществ на горючую массу	нелетучий углерод
1	19,4	4,2	30,5	45,3
2	21,0	4,3	27,8	47,9
3	23,4	5,6	30,0	44,4
4	23,8	5,4	21,5	53,0
5	32,3	2,4	28,5	49,0

Окожсованный брикет (который авторы назвали «брикоксом») обладает пористостью в 36—42%, сопротивлением раздавливания до 200 кг/см².

По описанному методу в Австралии налажено производство коксбрикетов в промышленном масштабе. В последние годы

по аналогичному методу в Англии производится опытное коксование неспекающихся углей [96]. Подобный процесс осуществляли на металлургическом комбинате им. Серова; полученный продукт использовали в доменной плавке [44].

Бурый уголь, измельченный примерно до 25 мм, подвергали сушке в сушильном барабане производительностью 3 т/час. Высушенный уголь крупностью до 10 мм подавали в коксовальный барабан производительностью 1,5 т кокса в час, где подвергали сухой перегонке в течение 2 час; температура отходящих газов была 350—400°. Выход кокса составлял около 45%.

Из коксовального барабана раскаленный кокс крупностью 4—6 мм почти непрерывным потоком подавался в барабан, охлаждаемый снаружи водой, где охлаждался до 150° и затем подавался в бегуны, где дробился до 2—3 мм. В дезинтеграторе кокс смешивался с пеком (8—10%); смесь поступала в особую камеру, где подвергалась обработке перегретым до 350—380° паром. Распаренную массу брикетировали на рычажном прессе под давлением в 6 атм. Затем в течение 30—45 мин. брикеты подвергали обжигу в обжигательной печи, где пек частично выгорал, коксовался, спекая зерна буроугольного кокса.

Газы из коксовального барабана после улавливания пыли и очистки использовали для обогрева сушильного и коксовального барабанов и пароперегревателя, а в случае нужды — и обжигательных печей; кроме того, оставалось еще некоторое количество газа, который не использовался. Пек получали из смолы тех же бурых углей.

Коксобрикеты имели размеры 100 мм в диаметре и около 100 мм в высоту; они получались плотные, малопористые. Содержание влаги в брикетах 1,13%, зольность их 17%, выход летучих 4,11%. Исследование горючести брикетов показало, что они мало уступают каменноугольному коксу. Теплота сгорания коксобрикетов — 6390 ккал/кг; сопротивление раздавливанию невелико — 24—26 кг/см².

Поведение брикетов в доменной печи даже при добавке их в количестве 60% к коксу было удовлетворительное: не наблюдалось расстройств хода печи, не было замусоривания, противодавление в печи и температура колошника оставались такими же, как и до применения коксобрикетов.

Вследствие повышенной истираемости брикетов цилиндрической формы вынос пыли из печи был велик. Кроме того, из-за ненадежности брикетной установки кокс был неоднородным. Эти обстоятельства все же затрудняли ведение плавки. При применении коксобрикета яйцевидной формы вынос пыли снижался.

В Венгерской Народной Республике также разработан процесс производства ококсованных брикетов из коксового порошка [138]. Коксование бурого угля производят в вертикальной печи.

Кокс после дробления смешивают со смолой (8—9%) и гудроном (0,5—0,6%). Целесообразно добавление каменного угля, 5—6% которого заменяют 1—2% смолы. Смесь брикетируют, и брикеты проходят обжиг в той же печи. Брикетокс выгружается в вагонетку, в которой происходит тушение, и затем поступает на грохот, где отделяется мелочь. Мелочь крупностью 1,5—20 мм поступает в дробилку, где дробится до 0—3 мм и затем идет на смешение и брикетирование.

Продолжительность коксования угля 14—16 час. Обжиг брикетов длится 8—10 час.

Этот метод в настоящее время подошел к стадии промышленного внедрения. Примерно аналогичный метод исследуется в Румынии [58], где изучают процесс получения доменного топлива из мелочи среднетемпературного кокса при 750—800°, сбрикетированной с 10% нефтяного битума или пека. Сырые брикеты подвергают окислению в токе продуктов горения при температуре 250—280° в туннельной печи или на транспортной ленте. После проведения опытов в лаборатории исследования проводятся в ползаводском масштабе. По такому способу из неспекающихся углей получают кокс с индексом М-40 около 90 и индексом М-10—7.

На основании опыта обеих стран установлено, что влажность измельченного кокса не должна превышать 2—3%, поскольку в противном случае при последующем брикетировании и коксовании брикеты дают много трещин. Температура коксования в 1000° обеспечивает постоянный объем коксовых брикетов. Добавление 5—6% каменных углей повышает прочность буроугольных коксобрикетов.

Институтом химической переработки углей (IChPW) в г.Забжу (Польская Народная Республика) разработан оригинальный трехступенчатый метод получения металлургического кокса из энергетических углей [114, 275].

Первым этапом является среднетемпературное коксование энергетического угля в шахтных печах типа Лурги при температуре около 850°. Обогрев угля ведется при помощи газового теплоносителя путем непосредственного сжигания отопительного газа. В результате получается около 70% порошкообразного кокса, 9—10% смолы, газ и вода.

Во второй стадии процесса кокс, измельченный до класса 0—3 мм брикетируют с добавкой 8% пека, полученного после дистилляции смолы до температуры 300°. Перед брикетированием смесь кокса и пека в специальном смесителе подвергают горячей гомогенизации с добавкой острого пара в специальном смесителе. Полученные в вальцовых прессах под давлением 250 кг/см² сырые брикеты выдерживают транспортировку, но распадаются при нагревании выше 45° вследствие расплавления связующего.

В третьей стадии процесса брикеты подвергают окислительному нагреву при температуре $250\text{--}300^\circ$ в горизонтальной печи длиной 30 м.

Поскольку окисление угля происходит экзотермически, достаточно нагреть брикеты до заданной температуры, а далее окисление их протекает без подвода тепла извне. Температура и время окисления определяют механические и физико-химические свойства получаемого кокса.

Так, оказалось, что при использовании в качестве связующего мягкого пека первой стадии процесса максимальная прочность брикетов создается после двухчасовой окислительной термообработки при 230° . Окислительная термообработка при 200° дает ту же механическую прочность лишь через 10 час. Размер брикетов $70 \times 60 \times 60$ мм; плотность их $1,2 \text{ г/см}^3$, пористость 20%. Имеются данные о высокой термоустойчивости брикетов, поскольку при нагревании до 2000° со скоростью 20 град/мин на них не образуется трещин.

На одном из польских коксохимических заводов по этому методу была получена опытная партия кокса со следующей характеристикой:

М-40 более 80%, М-10 — около 10%, зольность 7—10%, выход летучих веществ 4—7%, теплота сгорания 7000—7400 ккал/кг, кажущийся удельный вес $1,2 \text{ т/м}^3$, насыпной вес 0,7—0,75 т/м³.

Основные преимущества рассматриваемого метода:

- а) использование в качестве сырья любого угля, независимо от его коксуемости;
- б) получение на стадии предварительного среднетемпературного коксования материала с ситовым составом 0—3 мм;
- в) простая технологическая схема;
- г) осуществление всего технологического цикла за несколько часов;
- д) возможность влияния на качество конечного продукта путем надлежащего подбора компонентов шихты (уголь, связующее) и условий окислительной термообработки (температура, время, состав продуктов горения);
- е) большой выход коксобрикетов постоянного качества с высокой механической прочностью.

Блюм и Нистор [270] исследовали в лабораторных условиях возможность использования этого способа на углях Румынской народной республики. Работы велись на средне- и высокотемпературном коксе из угля Пальв с использованием нефтебитума в качестве связующего. Исходный уголь характеризовался влажностью 8,98%, зольностью 9,02%, выходом летучих веществ 36,4%. Для дальнейшей переработки среднетемпературный кокс, полученный при $700\text{--}800^\circ$, измельчался до класса 0—2,5 мм, а высокотемпературный кокс — до класса 0—5 мм.

Прессование брикетов проводилось при 15—20° под давлением 250 кг/см². Для термохимической обработки брикетов служили продукты горения метана, разбавленные воздухом; смесь содержала 2,4% СО₂ и 18,3% О₂. Продолжительность термохимической обработки изменялась от 2 до 6 час., температура варьировалась от 200 до 300°. Механизм увеличения прочности брикетов при такой обработке не вполне ясен; по-видимому, под влиянием комбинированного воздействия температуры и кислорода связующее вещество образует термоустойчивый прочный скелет.

В результате термохимической обработки брикетов их механическая прочность резко повышается по сравнению с сырыми брикетами — индекс М-40 увеличивается с 38,7 до 85, а индекс М-10 уменьшается с 28,8 до 9,0.

При использовании в качестве связующего битума непарафинистой нефти с более высокой температурой размягчения окисление должно производиться в течение более короткого времени и при низкой температуре, чем при использовании битума с низкой температурой размягчения (51°).

Механическая прочность брикетов повышается при использовании в качестве связующего нефтебитумов с более низкой температурой размягчения.

Применение кокса более крупного измельчения (0—5 мм) позволило снизить количество связующего до 8,7%.

Исследование показало, что в качестве связующего могут быть выбраны нефтебитумы любого происхождения. Оптимальное время термохимической обработки составляет 2—4 часа при температуре 250—260°.

В Румынской Народной Республике разработан и другой вариант получения металлургического кокса из неспекающихся углей путем предварительной термообработки, брикетирования со связующим и последующего коксования брикетов [270]. Полузаводские испытания позволили рекомендовать следующий состав шихты: 50% неспекающегося угля, 20% газового угля, 18,5% полукокса из неспекающегося угля и 11,5% каменноугольного пека. При этом угли должны быть измельчены до класса 0,2 мм, а полукокс до класса 0—1 мм. Шихта подвергается прессованию в вальцевых прессах под давлением 250—280 кг/см², а сырые брикеты коксуют в вертикальных печах. Таким путем в 1955—1959 гг. было получено несколько сот тонн коксобрикетов, на которых была проведена удовлетворительная доменная плавка.

Характеристика полученных коксобрикетов:

Влажность, %	2—14
Зольность, %	14—15,7
Выход летучих веществ, %	0,5—3

Содержание серы, %	2—2,75
Пористость	39—45
Прочность в микум-барабане	
М-40	70—82
М-10	1,2—10,6

В настоящее время исследуется возможность замены каменноугольного пека нефтебитумом или пеком, полученным при полукоксовании.

На основе многочисленных лабораторных работ Лиснер и Раммлер [210] разработали способ получения брикетокоска из мягких бурых углей Западной Эльбы. Основной целью предварительной термообработки является обессеривание угля. Было установлено, что значительная часть органической серы может быть удалена в виде сероводорода при нагреве до высокой температуры в потоке водорода. Необходимой предпосылкой осуществления этого процесса является отсутствие в угле соединений, связывающих сероводород, как например, CaO и Na_2O . В противном случае необходима соответствующая предварительная обработка угля.

Измельченный до класса ниже 30 мм бурый уголь подвергается предварительной обработке парами кислой подсмольной воды полукоксования. Затем подсушенный до 8% влаги и измельченный до класса ниже 3 мм уголь подвергают термообработке и одновременному обессериванию в вихревой камере при температуре около 800° в потоке водородсодержащего газа (водяной газ, светильный газ). Полученный среднетемпературный кокс после измельчения до класса ниже 1 мм и смешения с соответствующими связующими брикетируют под пониженным давлением при температуре 80°. Наконец, брикеты подвергают закалке в окислительной атмосфере и коксуют.

Рассмотрим другой трехступенчатый процесс, на второй ступени которого предусматривается использование кокса с определенной крупностью частиц (бельгийский патент 523206 от 5. 10. 1953). Твердый кокс с выходом летучих менее 7% измельчают до класса ниже 4 или даже ниже 2 мм. Кокс средней твердости измельчают до класса ниже 2 или ниже 1 мм. Ему равноценны кокс из антрацита, тощего или длиннопламенных углей, в которых выход остаточных летучих веществ доведен до 5%. Мягкий кокс измельчают до класса ниже 1 или 0,5 мм. Ему соответствует бурогольный и торфяной коксы с выходом летучих веществ менее 4%.

Кокс смешивают с пеком, битумом или нефтяными остатками, брикетируют при 500—1000 ат и затем коксуют. Этот способ применим также для антрацитов и некоторых тощих углей без предварительной обработки измельченных до класса ниже 1 мм. Хок (патент ФРГ 854 194 от 25. 4. 1953) также придерживается того

взгляда, что оптимальная степень измельчения кокса, полученная в первой ступени, определяется остаточным выходом летучих веществ из кокса. Так, он рекомендует кокс с выходом летучих 5% измельчать до класса ниже 4 мм, а полукокс с 12—15% летучих веществ измельчать до класса ниже 0,5 мм перед добавлением спекающегося каменного угля и брикетирования и коксования этой смеси.

Примерно те же идеи развивают в своих работах Маундер [214] и Сайдерфен [245]. При этом к коксовой мелочи добавляют 10—12% пека и в дробилке измельчают до класса ниже 5—6 мм. Дробилка в этом процессе одновременно играет роль смесителя. Полученную смесь брикетируют и подвергают коксованию при 1000°.

Шрейбер брикетировал коксовую мелочь с 7—8 % смолы или пека, добавляя при этом несколько процентов спекающегося каменного угля [178]. Брикететы весом по 400, 1000 или 3000 г поступали на прокалку в туннельную печь или в поперечноточную печь Отто. Полученный брикетокс представляет хорошее литейное топливо, повышающее производительность вагранки на 35%. Коксобрикететы характеризуются низкой реакционной способностью, поэтому сгорают целиком в области фурм. Ваграночный газ содержит менее 6% окиси углерода. Работы эти развиваются во все большем масштабе.

Экономичность коксования с предварительной термообработкой и брикетированием из-за отсутствия экономических показателей еще не установлена. Однако можно полагать, что экономичное проведение этого процесса затрудняется большим количеством технологических операций, а также значительными потерями теплосодержания кокса после первой и второй ступеней термической переработки.

Глава VIII

ОКУСКОВАНИЕ СМЕСЕЙ РУДЫ, ТОПЛИВА И ФЛЮСА

Переработка бедных железных руд в доменных печах целесообразна только после глубокого их обогащения, требующего весьма тонкого измельчения для раскрытия рудных зерен. При глубоком обогащении железных руд получают тонкоизмельченные железорудные концентраты, состоящие на 80—90% из частиц размером меньше 0,06 мм. Спекание таких тонкоизмельченных концентратов обычным способом на агломерационных машинах протекает медленно и приводит к снижению производительности лент и понижению качества агломерата.

1. БРИКЕТИРОВАНИЕ

Исследовательские и опытно-промышленные работы по брикетированию руд проводились в ФРГ, Польше, Румынии, Японии, Франции, ГДР, США и других странах. Результаты работ показывают, что брикетирование руд позволяет не только эффективно окучковывать их, но и использовать бурые и некокующиеся каменные угли.

Исследовательские работы по брикетированию, проведенные в Московском горном институте [88], дали положительные результаты при использовании рыхлых разновидностей богатых руд и тонкоизмельченных концентратов, из кварцитов КМА (содержание железа до 60%) и кимканской руды (содержание железа около 65%). Офлюсованные брикеты закрепляли пропаркой в автоклавах при давлении 7 атм и температуре 175° или карбонизацией.

Удовлетворительные результаты были также получены при получении рудо-угольных офлюсованных брикетов из бурых железняков Лисаковского месторождения и концентратов руд этого месторождения. В качестве восстановителей применяли коксик, неспекающиеся и спекающиеся угли восточных месторождений.

Исследование процесса термобрикетирования руд с присадкой газовых и бурых углей, торфа, проведенное Московским горным институтом, показало возможность получения удовлетворительных по механической прочности рудно-топливных брикетов.

Для улучшения термической и термомеханической прочности брикетов в состав шихты можно вводить сухогашеную известь — пушонку и небольшие количества (10—20%) жирных или газовых углей.

Путем лабораторных и полужаводских опытов Зейберлих, Рихтер и Цваде [238] показали, что рудные смеси могут удовлетворительно брикетироваться совместно с флюсующими добавками и 20% гидрата окиси кальция. При этом возможна также добавка к брикетируемой шихте коксовой пыли (0—2 мм), количество которой соответствует потребности железа рудной части шихты в твердом восстановителе. Прочность сырых брикетов на сжатие непосредственно после их изготовления составляла 70—90 кг/см². После восьмидневной естественной сушки брикетов их прочность на сжатие возрастала до 140—220 кг/см². Аналогичное воздействие на прочность брикетов оказывает тепловая обработка их при 200—300° в течение 1—2 час. Процесс упрочнения брикетов может быть ускорен обработкой их в атмосфере, содержащей двуокись углерода.

Исследование показало, что наилучшими являются брикеты, состоящие из 50% руды, 40% гидрата окиси кальция и 10% кокса.

По данным опытов, прочность брикета повышается с увеличением давления его прессования, а также с увеличением времени хранения брикета на складе в атмосферных условиях.

Добавка боксита или глинозема увеличивает прочность брикета. Существенное значение имеет также крупность зерна материалов, подвергаемых брикетированию. Лучший результат дает наиболее мелкоизмельченная руда, что подтверждается показателями прочности брикетов на сжатие:

Класс крупности зерна, мм . . .	0—1	0—2	0—3	0—4	0—5
Прочность на сжатие, кг/см ² . . .	210	180	190	180	170

Впоследствии было принято, что оптимальной крупностью руды при брикетировании можно считать зерна с размерами 0,0—3,0 мм.

Изучалась также зависимость прочности брикетов от количества добавляемого в шихту кокса при влажности шихты 12% и давлении прессования 300 и 600 кг/см². Было установлено, что оптимальное количество добавляемого кокса составляет не более 30%; увеличение количества кокса сверх 30% резко уменьшает прочность брикетов.

Исследования рудоизвестковых брикетов позволили также установить и связь их прочности с химизмом процесса. При сушке брикетов дымовыми газами образуется не просто CaCO₃, а силикат кальция. При повышении температуры нагревания брикетов (при переходе CaCO₃ в CaO) силикат кальция разру-

шается и освободившаяся известь становится рыхлой. Однако вследствие образующейся при высокой температуре губки железа брикет остается прочным. Брикеты испытывали в доменной лабораторной печи «Маленький Макс». Опыты показали хорошие результаты — увеличение производительности на 30% по сравнению с плавкой на одной руде.

В дальнейшем [239] те же исследователи провели получение рудо-кокса-известковых брикетов в промышленном масштабе с выплавкой из них чугуна в низкотемпературных доменных печах. Прессование брикетов было выполнено в вальцовом прессе с диаметром валков 1000 мм и пресс-формами каплеобразного профиля. Производительность пресса в зависимости от насыпного веса брикетируемой шихты меняется от 20 до 40 т/час.

Прочность на сжатие сырых брикетов, изготовленных на связке из гидрата окиси кальция, составляла в среднем 60 кг/см^2 , а прочность брикетов на сбрасывание (доли классов размером выше 10 мм после сбрасывания брикета с высоты 2 м) — 70%. Упрочнение сырых брикетов может проводиться различными способами: естественным упрочнением при вылеживании брикетов на обычном складе, на наклонной решетке и искусственной обработкой брикетов в дымовых каналах, бункерах или в верхних частях шахтных печей. Возможны также комбинированные методы упрочнения брикетов.

Наиболее просто задача упрочнения брикетов решается путем многодневного хранения брикетов на крытом складе. Высота штабеля брикетов на складе может быть довольно значительной. Так, брикеты, отобранные с высоты штабеля 0,25 и 4,0 м и находившиеся в штабеле равное время, не обнаружили различия в прочности на сбрасывание. При производительности 1000 т брикетов в сутки, четырехдневной выдержке брикетов на складе и высоте штабеля 3 м необходимая площадь склада составляет 1000 м^2 .

Для оценки целесообразности упрочнения брикетов на колосниковой решетке были проведены предварительные опыты, показавшие возможность получения одинаковой толщины по всей длине штабеля (сверху до основания). Наклонная колосниковая решетка позволяет осуществлять постоянную естественную циркуляцию воздуха через слой брикетов, слегка нагретых экзотермическими реакциями. Весь штабель брикетов можно в этом случае дополнительно обрабатывать дымовыми газами кауперов или горячим дутьем, подаваемым в штабель через решетку. При однодневном хранении брикетов и высоте их слоя 2 м для упрочнения 1000 т брикетов необходима площадь решетки 400 м^2 .

Представляется наиболее целесообразным производить ускоренную сушку и упрочнение брикетов в каналах, по которым

пропускаются доменный газ или дымовые газы кауперов, служащие в этом случае одновременно теплоносителем и источником двуокиси углерода. В результате опытов была установлена желательность нагрева брикетов смесью доменного газа и дымовых газов кауперов. При соотношении колошниковый газ: дымовый газ=1:8 для упрочнения 1 т брикетов требуется 150 нм^3 колошникового и 1200 нм^3 дымового газа кауперов. В этих условиях прочность брикетов на сжатие возрастает с 60 до 220 кг/см^2 , а прочность на сбрасывание растет с 70 до 92%. Анализ результатов опытов показывает, что для упрочнения 1000 т брикетов в сутки необходим дымовый канал длиной 90 и шириной 1 м (скорость движения ленты 1,5 м/мин , высота слоя брикетов 400 мм).

Для упрочнения брикетов может быть также использован промежуточный бункер, в нижнюю часть которого подаются дымовые газы кауперов, подогретые до 400° доменным газом. Положительный результат дали также опыты по быстрому упрочнению сырых брикетов путем обработки их газом в верхних горизонтах плавильных печей.

В ходе промышленных опытов в низкошахтной печи Донауверт завода «Максхютте» проплавляли брикеты, приготовленные из шмидефельдской обожженной руды, известняка и коксовой пыли. При этом была получена экономия топлива в 14,7% при увеличении производительности печи на 21%.

Опыты были продолжены на металлургическом заводе Вест в Кальбе, где использовали обычную шихту и шихту, содержащую 30% брикетов. Результаты опытов оказались положительными. Производительность печи возросла с 84,2 до 87,9 т/сутки . Расход кокса уменьшился с 2434 до 2167 кг/т чугуна, т. е. на 11%. С учетом замены части кокса коксовой мелочью, содержащейся в брикетах (39,6 кг/т чугуна), общая экономия топлива составляет 9%.

В научно-исследовательском отделе завода «Максхютте» проводятся также работы по получению брикетов из угля и руды с различными связующими добавками.

Наилучшим связующим оказался каменноугольный пек. С добавкой пека в лабораторных условиях были изготовлены брикеты следующего состава: 30% руды, дробленной до 0,0—1,0 мм; 70% угля каменного, дробленного до 0,1—1,0 мм и 8% пека крупностью 0,0—0,25 мм. В производственных условиях эти брикеты не опробованы. Предполагается, что брикеты подобного состава и без предварительного обжига вполне пригодны для низкошахтных печей.

На основе исследований, проведенных в ФРГ, установлено, что мелкозернистые и пылеватые руды, смешанные с мягким

бурым углем и гашеной известью можно брикетировать без специального связующего путем применения штемпельных и кольцевых процессов с высоким давлением прессования. Термоустойчивость и механические качества брикетов отвечали требованиям, предъявляемым к материалам для плавки в низкошахтных печах.

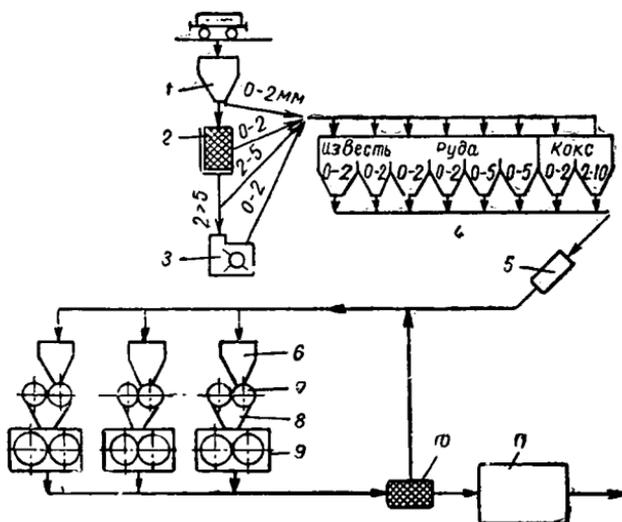


Рис. 62. Технологическая схема фабрики для брикетирования железных руд:

1 — разгрузочный бункер; 2 — двухдековый вибрационный грохот (диаметр отверстий в верхней деке 5 мм, диаметр отверстий в нижней деке 2 мм); 3 — молотковая дробилка; 4 — бункера; 5 — смешительный барабан; 6 — приемный бункер; 7 — валковый пресс для предварительной подпрессовки шихты; 8 — приемная воронка; 9 — валковый пресс для изготовления брикетов; 10 — грохот; 11 — установка для упрочнения брикетов

Результаты многочисленных лабораторных и полупромышленных опытов могут служить основой для проектирования промышленной установки брикетирования руд (рис. 62). В зависимости от крупности материалы из первичного разгрузочного бункера с помощью транспортеров могут быть направлены непосредственно в бункера для хранения сырья или проходить стадии предварительного рассева на двухдековом грохоте и дробления — в молотковой дробилке. Максимальная крупность зерна брикетируемой руды зависит от ее свойства. Дозировочные устройства пропускают материалы из бункеров на транспортерную ленту, заканчивающуюся у смесителя, где проводится также и увлажнение. Из смесителя влажная шихта посту-

падет в бункер, расположенный над первым валковым прессом, предназначенным для предварительной подпрессовки шихты. Приготовленная шихта подается в приемную воронку брикетного пресса. Готовые брикеты пропускают через грохот с отверстиями 5 мм, а отсев вновь возвращают в смесительный барабан. Установка для упрочнения брикетов является одновременно и бункером для готовой продукции.

Получение рудо-коксо-известковых брикетов позволяет окучковывать руды, концентраты и пыль без термической обработки, характерной для процесса агломерации, и вне зависимости от физических свойств сырья (такая зависимость особенно характерна для процесса окатыwania). Важным преимуществом брикетирования по сравнению с другими методами окучковывания пылеватых руд является возможность получения брикета желаемой формы, нужной основности, а также возможность замены металлургического кокса коксовой пылью.

Брикеты можно с успехом применять в мартеновском производстве. Они могут быть эффективнее агломерата вследствие большей плотности.

Внедрение брикетирования руд затрудняется тем, что вальцовые брикетные прессы, выпускаемые отечественной промышленностью, не достигают еще достаточной производительности. Следует отметить, что ряд зарубежных фирм изготавливает вальцовые прессы производительностью 50—70 т угольных брикетов или 75—100 т рудных брикетов в час. Использование вальцовых прессов с предварительным уплотнением шихты, рассчитанных на удельное давление до 900 кг/см^2 , позволит получать брикеты без добавок связующего с сокращением или ликвидацией процесса закрепления.

Возможно, что в ближайшем будущем доменный процесс будет видоизменен. Брикеты, состоящие из угля, руды и известки или пека, дадут возможность превратить низкошахтную печь в аппарат для получения чугуна, газа и летучих продуктов.

Лабораторными опытами было установлено, что при добавке смолы или пека в количестве 6—8% к вышеуказанной шихте, получаются брикеты с прочностью на сжатие до 250 кг/см^2 . При работе низкошахтной печи на этих брикетах могут получаться такие же продукты, что и в коксовой печи, а в частности, газ с тепловой спорангией $3800—4200 \text{ кал/м}^3$. Часть добавленного в шихту пека возвращается обратно.

В ГДР положительно оценивается идея строительства больших доменных печей в сочетании с низкошахтными печами [119]. Эта идея интересна тем, что при ее осуществлении в низкошахтных печах можно будет использовать все то, что нельзя использовать в больших доменных печах (мелкий кокс, пылеватую руду и т. п.). Пылеватую руду, не пригодную для использования

в больших доменных печах, можно будет брикетировать и плавить в низкошахтных печах.

Следует отметить значительный интерес работ А. Г. Хвичия (Грузинский политехнический институт), который создал новые виды комплексных металлургических материалов для доменного и ферросплавных процессов, названных им «моношихта».

2. ГРАНУЛИРОВАНИЕ

Гранулирование с обжигом гранул

За рубежом значительное внимание уделяется окомковыванию тонкоизмельченных материалов методом окатывания в барабанных или тарельчатых грануляторах с последующим упрочняющим обжигом окатышей (гранул) на агломерационных лентах, а также в шахтных или трубчатых вращающихся печах.

В США на крупных промышленных установках применяется способ обжига окатышей горящим твердым топливом, накатанным на их поверхность. При этом получают прочные окатыши, в значительной степени оплавленные и содержащие значительные количества файалита и закиси железа.

В Механобрчермете [89] были проведены лабораторные опыты по обжигу окатышей при помощи газового и твердого топлива. Для офлюсовывания рудного концентрата применяли мел крупностью 0—3 мм, который несколько улучшает прочность окатышей в сыром состоянии.

Для обжига окатышей накатанным на их поверхность твердым топливом использовали антрацит марки АК. Как показали опыты, механическая прочность окатышей, полученных при обжиге газом и твердым топливом, практически одинакова. Однако при обжиге горящим над слоем окатышей газом расход топлива примерно на 30—40% больше, чем при обжиге твердым топливом.

Недостатком этого метода является довольно сложный процесс обжига сырых рудных гранул при температурах 1200—1300°. В сущности такой метод является разновидностью агломерации, при которой агломерируемая шихта подвергается предварительной подготовке путем ее окомковывания.

Однако с точки зрения создания оптимальных условий для протекания в дальнейшем процессов восстановления, обжиг рудных гранул нежелателен, так как при этом происходит образование железистых силикатов, уменьшается пористость гранул и уменьшается суммарная поверхность рудных частиц концентрата.

Брикетирование металлургических шихт и материалов без обжига не имело бы перечисленных недостатков.

При окусковывании материалов для металлургии желатель-

но применение таких связующих добавок, которые были бы полезны в дальнейших металлургических процессах. Такой полезной добавкой для доменного процесса служит известь. Однако брикеты, полученные с известью, невлагостойки, а их термическая стойкость не превышает 480—640°.

Химико-каталитическое гранулирование

П. И. Канавец с сотрудниками [14] предложил химико-каталитический метод получения офлюсованных рудотопливных гранул, принципиальная технологическая схема которого представлена на рис. 63.

Железорудный концентрат подсушивается до влажности 2—3% в барабанной сушилке 1 и поступает в расходный бункер 4 для сухого концентрата. Топливо измельчается и одновременно подсушивается в шахтной мельнице 2 и подается пневмотранспортером в расходный бункер 5 для сухого измельченного топлива. Обожженная известь после гашения в известегасителе 3 подается в бункер 6.

Из расходных бункеров 4, 5 и 6 сухие материалы через тарельчатые питатели поступают в шаровую мельницу 7 для смешения. Готовая шихта подается в бункер 8, откуда транспортируется на тарельчатый гранулятор 9. Одновременно в гранулятор из напорных бачков 14 и 15 подается 0,01%-ный водный раствор катализатора.

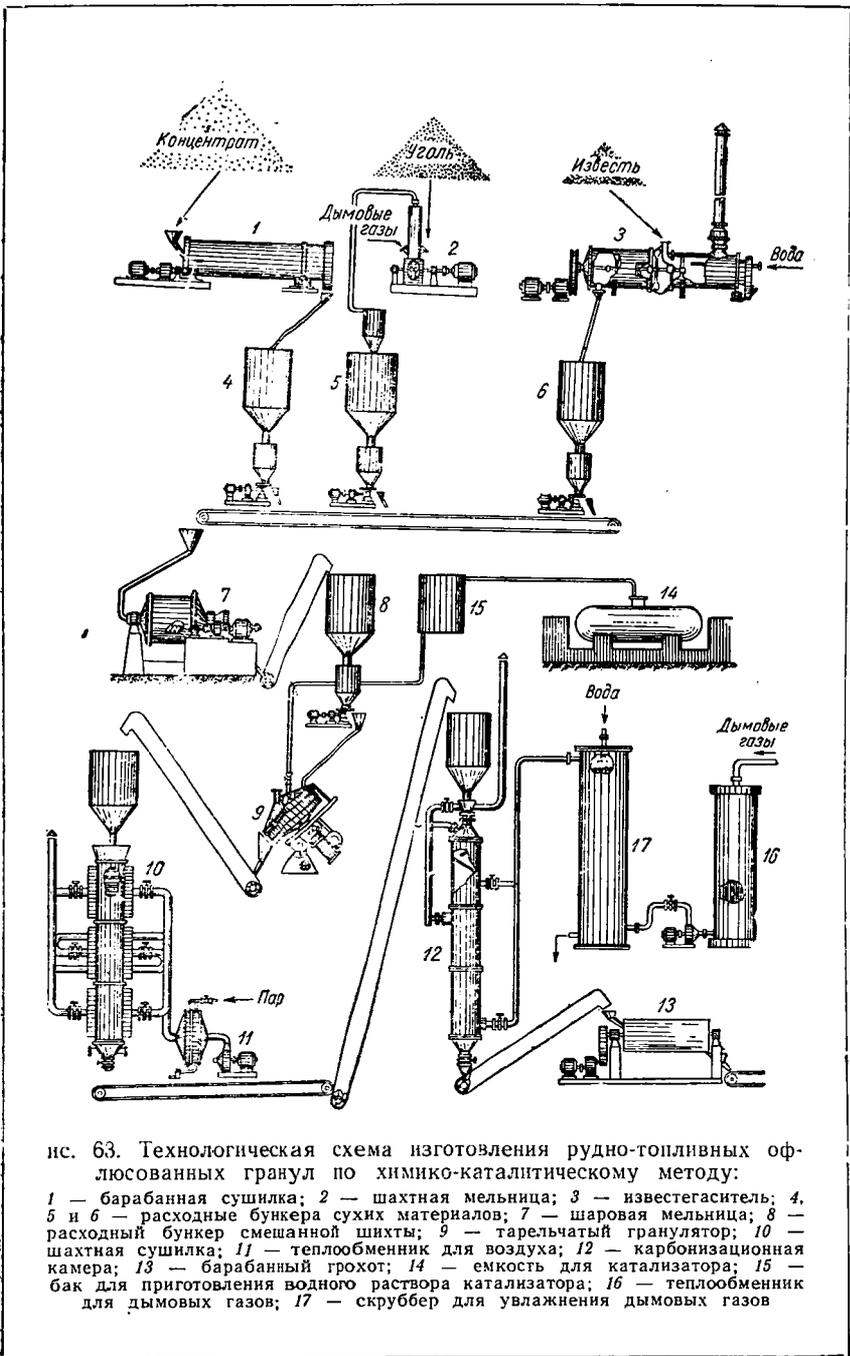
Полученные на грануляторе гранулы подаются в сушилку 10. Предварительно подсушенные теплым воздухом (100—105°) гранулы для карбонизации обрабатываются в пересыпной карбонизационной камере 12 током холодных (40—60°) дымовых газов, содержащих 20—25% двуокиси углерода. Время карбонизации — 90 мин. Дымовые газы охлаждаются и увлажняются в холодильнике 16 и скруббере 17. Процесс упрочнения гранул идет путем образования мелкокристаллической структуры карбоната кальция.

Готовые гранулы, выгруженные из пересыпной карбонизационной камеры, подаются транспортером на грохот 13, а затем поступают на склад готовой продукции.

Как видно из приведенной схемы, в химико-каталитическом методе не применяются ни высокие температуры, ни высокое давление, что обуславливает сравнительно простое аппаратурное оформление технологического процесса.

Окомковывание концентрата и других измельченных материалов производится на тарельчатом грануляторе с диаметром чаши 1 м. Производительность установки — до 300 кг готовых гранул в час.

На рис. 64 представлены данные одного из опытов, характеризующие протекание процесса карбонизации в карбокамере



стендовой установки. В период опыта производительность карбокамеры составляла 200 кг гранул в час. Влажность гранул после гранулятора 10—12%, после подсушки (перед карбонизацией) 4,0—6,0%. Газ, поступающий в карбокамеру, содержит 19—20% CO₂. Температура в карбокамере равнялась 50°, давление 60—120 мм вод. ст.

Состав гранул до и после карбонизации для оптимального расхода газа 800 нм³/т гранул приведен в табл. 24.

Уменьшение расхода газа повышает степень использования CO₂ до 90%, но гранулы получаются менее механически прочными. Повышение расхода газа на карбонизацию более 800 нм³/т гранул вызывает увеличенный «проскок» непрореагировавшей двуокиси углерода до 10—12% на выходе из карбокамеры и не приводит к повышению прочности гранул.

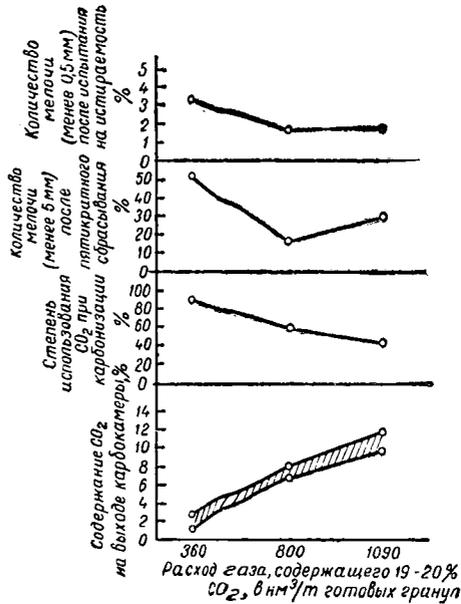


Рис. 64. Зависимость параметров карбонизации и механической прочности гранул от расхода газа на карбонизацию

Таблица 24
СОСТАВ ГРАНУЛ ДО И ПОСЛЕ КАРБОНИЗАЦИИ, %

Составляющие	До карбонизации	После карбонизации
Концентрат рудный КМА	75	67
Коксик	10	9
Известь	15	2
CaCO ₃	—	22

В процессе получения гранул происходит ряд химических превращений, связанных с созданием и закономерным изменением кристаллической структуры связующего



В последней стадии связующее упрочняется в результате реакции карбонизации, идущей в присутствии катализатора, с образованием мелкокристаллической структуры кальцита.

Роль катализатора в создании мелкокристаллической структуры с сильно развитой поверхностью сросшихся кристаллов CaCO_3 может быть объяснена также и с точки зрения влияния поверхностно активных веществ на процессы структурообразования при переходе системы через коллоидное состояние.

Исходя из приведенных данных, в качестве катализатора и в то же время поверхностно активного вещества для процесса карбонизации в химико-каталическом методе окусковывания руд, углей и минералов были выбраны отходы сахарного производства — меласса и продукт гидролизной промышленности — гидролизат, получаемый при осахаривании древесины.

Эксперименты показали, что расход катализатора (мелассы или гидролизата) при изготовлении гранул из доменных шихт составляет ничтожную величину — тысячные доли процента от веса гранулируемой сухой шихты.

Для успешного протекания реакции карбонизации необходимо создание оптимальных условий, одним из которых является процесс предварительной активации гранул подсушкой теплым воздухом ($100\text{—}105^\circ$). Следствием этого является раскрытие макропор, что улучшает диффузию двуокиси углерода внутрь гранулы.

Другим условием успешного протекания реакции карбонизации является наличие оптимальной влажности, так как реакция карбонизации протекает только в водной среде. Поэтому процесс карбонизации слегка подсушенных гранул ведется при $40\text{—}60^\circ$ дымовыми газами, содержащими до 25% двуокиси углерода и имеющих относительную влажность 80—90%. Это тем более необходимо, поскольку реакция между $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и CO_2 идет с большим выделением тепла, что может привести к полному удалению влаги из гранулы и прекращению реакции карбонизации.

Так как при нагреве рудно-топливных гранул в них протекает последовательный ряд реакций восстановления железа, которые сопровождаются закономерным чередованием смены структур окислов железа с образованием в итоге прочной структуры металлического железа, то при соответствующих условиях можно использовать структуру восстановленного железа как связку для того, чтобы гранулы не рассыпались до зоны их плавления.

Таким образом, химико-каталитический метод предусматривает создание высокотемпературной «связки» взамен распавшегося кальцита в процессе самой металлургической переработки рудно-топливных гранул в виде структуры восстановленного губчатого железа.

Термодинамический анализ процессов восстановления окислов железа подтверждает возможность получения губчатого же-

леза в результате восстановления окислов железа газообразными или твердыми восстановителями при сравнительно низких температурах.

Наличие в рудно-топливных гранулах, получаемых по химико-каталитическому методу, тонкоизмельченного рудного концентрата, обладающего большой суммарной поверхностью зерен и находящегося в тесном контакте с тонкоизмельченным восстановителем, является основой для существенной интенсификации процессов.

Для металлургической оценки рудно-топливных гранул с коксиком и торфяным полукоксом они были подвергнуты испытанию в лабораторной доменной печи. Проведенные опытные плавки подтвердили теоретические соображения о возможности выплавки металла из необоженных рудно-топливных гранул без их разрушения. Показано также, что восстановимость офлюсованных рудно-топливных гранул лучше, а температура размягчения выше, чем у агломерата.

В качестве восстановителя могут применяться тонкоизмельченные низкосортные топлива: коксик, антрацит, полукокс.

Исследованиями акад. И. П. Бардина с сотрудниками [15] установлено значительное развитие процесса восстановления железа офлюсованных рудно-топливных гранул во взвешенно-фонтанирующем слое в результате тесного контакта углерода топлива и окислов железа, а также интенсивного процесса теплообмена в подвижном слое. При температуре 1000° за 3 мин. было достигнуто восстановление железа в гранулах на 97—98%. Авторы исследования рекомендуют для промышленного внедрения скоростной метод получения губчатого железа в многоступенчатом аппарате с использованием при изготовлении гранул высокообогащенных железорудных концентратов.

На опытно-промышленной установке в 1961 г. было проведено совершенствование технологии получения гранул, изучение работы аппаратов и изготовление опытной партии гранул для доменной плавки в количестве 5350 т. Выполненная работа дает возможность выдать данные для проектирования промышленных цехов по подготовке топливно-рудных материалов безобжиговым химико-каталитическим методом.

В Англии проводятся работы по приготовлению плавильных брикетов для доменных печей, состоящих из руды, коксовой мелочи, связующего и возврата после агломерирования. Коксовая мелочь добавляется в количестве 5—6%. Процесс подготовки компонентов во многом подобен шихтовке углей перед коксованием. Тщательный контроль количественного соотношения компонентов и качества сырья обеспечивает эффективность процесса получения плавильных агрегатов.

Глава IX

РАСШИРЕНИЕ УГОЛЬНОЙ БАЗЫ КОКСОВАНИЯ В ДОНЕЦКОМ БАСЕЙНЕ

1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ УГОЛЬНОЙ БАЗЫ КОКСОВАНИЯ И ПРОВЕДЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Расширение угольной базы коксования в Донецком бассейне представляет задачу огромного народнохозяйственного значения. Актуальность этой задачи характеризуется сопоставлением балансовых геологических запасов углей Донецкого бассейна до глубины 1200 м в пластах мощностью более 0,45 м со средним составом шихт южных коксохимических заводов, работающих на донецких углях (табл. 25).

Т а б л и ц а 25
ЗАПАСЫ УГЛЕЙ ДОНЕЦКОГО БАСЕЙНА И
СРЕДНИЙ СОСТАВ ШИХТ

Марки углей	Запасы угля в пла- стах мощ- ностью бо- лее 0,45 м до глуби- ны 120 м %	Средний состав шихт южных заводов, %		
		1940 г.	1957 г.	1960 г.
Д	13,5	—	—	—
Г	31,6	8,2	18,9	23,5
Ж	6,3	49,6	42,3	39,9
К	4,2	23,3	23,6	19,8
ОС	3,4	18,9	14,1	15,6
Т	8,8	—	1,1	0,9
А	32,2	—	—	—

По данным на 1 января 1958 г. эти балансовые геологические запасы (без углей длиннопламенных, приближающихся по свойствам к бурым ДБ) составляют 118 млрд. т.

Анализ цифр приведенной таблицы показывает, что в недрах Донбасса залегают значительные количества газовых и длиннопламенных углей (45,1%), а в составе шихт они расходуются

в среднем на уровне 20—21%. Также недостаточно расходуются тощие угли при резком перерасходе углей марок Ж, К и ОС.

Актуальность задачи расширения угольной базы коксования в Донецком бассейне путем внедрения в шихту коксохимических заводов Юга газовых углей в значительной мере определяется относительной дешевизной газовых углей. Если принять затраты труда при добыче 1 т газовых углей за 100 единиц, то на долю углей остальных марок трудовые затраты распределяются следующим образом: Г—100, Ж—122, К—114 и ОС—124.

В текущем семилетии высвобождаются значительные количества углей марок Д, Г, Ж и Т, которые до этого расходовались в паровозных топках. В связи с увеличением в 1959—1965 гг. сети электрифицированных дорог (примерно в три раза) угли указанных марок можно будет привлечь для коксования. Большие количества углей марок Д, Г и Т освободятся в связи с намечаемым переводом промышленных предприятий (заводов и электростанций) на потребление природного газа и нефтепродуктов.

Таким образом, задачу расширения угольной базы коксования в Донецком бассейне можно решить путем увеличения использования в шихтах южных коксохимических заводов газовых, тощих и длиннопламенных углей.

Решению этой задачи было посвящено большое количество экспериментов и исследований, проведенных на протяжении почти тридцати лет рядом исследователей в лабораторном, полупромышленном и промышленном масштабах. В результате всех этих работ наибольший эффект был получен при повышенном участии в шихтах газовых углей. Применение тощих и длиннопламенных углей заметных результатов в области расширения угольной базы коксования не дало¹.

Основным источником обеспечения коксохимической промышленности Юга газовыми углями является Красноармейский район. Красноармейские газовые угли характеризуются невысокой зольностью (менее 20%), небольшой сернистостью (менее 2%) и хорошей спекаемостью. Одновременно они представляют большую ценность как сырье для получения химических продуктов коксования; выход продуктов коксования для них изменяется в следующих пределах: смола 4—5%, бензолные углеводороды 1,3—1,6%, коксовый газ до 360 м³/т сухого угля.

Об огромной работе по вовлечению в шихты для коксования

¹ В настоящее время все заводы, производящие литейный кокс, имеют в составе шихт тощие угли. При наличии малозольных углей марки Т их можно было бы внедрить и для производства доменного кокса.

на Юге газовых углей, проведенной на протяжении последних трех десятилетий, красноречиво говорит приведенная в табл. 26 динамика изменения состава шихт южных коксохимических заводов.

Таблица 26
ДИНАМИКА ИЗМЕНЕНИЯ СОСТАВА ШИХТ
КОКСОХИМИЧЕСКИХ ЗАВОДОВ ЮГА

Год	Содержание в шихте, %					
	Д	Г	Ж	К	ОС	Т
1933	—	0,1	49,6	24,6	25,7	—
1937	—	2,6	53,4	23,4	20,6	—
1940	—	8,2	49,6	23,3	18,9	—
1947	—	9,9	48,4	27,9	13,8	—
1952	0,1	15,4	44,4	23,9	15,3	0,9
1955	0,2	16,8	44,7	22,4	14,9	1,0
1958	—	21,6	40,7	21,2	15,6	0,9

В 1960 г. участие газовых углей в шихтах Юга составило 23,5%. В последующие годы намечается дальнейший рост участия газовых углей в шихтах коксохимических заводов. Так, по данным Госплана СССР, долевое участие газовых углей в шихтах заводов, работающих на углях Донбасса, составит: 1962 г. — 26,8%, 1963 г. — 27,6%, 1964 г. — 28,5%, 1965 г. — 29,0%. В 1980 г. участие газовых углей в шихтах для коксования превысит 40%. Впервые газовые угли на Юге были применены в крупном промышленном масштабе в 1953 г. на Коммунарском коксохимическом заводе по предложению бригады Днепропетровского углехимического института (С. А. Шварц, Н. Р. Кушниревич и И. Н. Николаев). Задачей бригады была разработка мероприятий по улучшению качества кокса и обеспечению нормального хода коксовых печей. При переходе Коммунарского коксохимического завода на одну из оперативных шихт с увеличением содержания углей марок К и ОС на коксовых печах начались серьезные затруднения при выдаче коксового пирога из-за недостаточной усадки его, были случаи бурения кокса в печах. Для увеличения усадки коксового пирога нужно было ввести в шихту усадочные угли.

Ввиду отсутствия усадочных жирных углей в шихту было введено 5% спекающихся газовых углей шахты № 22 Бежановка треста «Первомайскуголь» вместо крепких жирных углей. Этого оказалось достаточно для облегчения выдачи коксового пирога. На коксе, полученном из этой шихты, доменные печи работали

удовлетворительно, в связи с чем газовые угли были закреплены в составе шихты Коммунарского коксохимического завода.

В середине 1934 г. опыт Коммунарского коксохимического завода был использован Днепропетровским углехимическим институтом (ДУХИН) при компоновке шихт для других заводов.

С. Г. Аронов и И. А. Копелиович провели в 1935 г. на Харьковском коксохимическом заводе батарейное коксование двух шихт без углей марки К: Г—25%, Ж—75% и Г—15%, Ж—85%. Эти шихты давали кокс с пониженным остатком в большом барабане 301—305 кг.

В 1937 г. С. Г. Аронов, Х. М. Монсева и М. В. Ротт в течение пяти суток коксовали на Кадиевском коксохимическом заводе шихту состава Ж—75%, Г—25%. Прочность полученного при этом кокса колебалась от 310 до 323 кг. В этих опытах прочность кокса была несколько выше, чем в предыдущих, что объясняется периодом коксования в шамотных печах, равным 28 час. Но и в этих опытах кокс получался относительно низкого качества из-за отсутствия в шихтах углей марки ОС.

В 1938 г. на Керченском коксохимическом заводе в течение шести суток коксовали шихту следующего состава: Г—60%, ПС—20% и ОС—20%. Прочность кокса по барабану Сундгрена составила при этом 324 кг. Небольшие доменные печи на этом коксе работали удовлетворительно.

В 1949 г. Донецкий коксохимический завод по предложению Я. М. Обуховского был переведен на шихту без участия углей марки К. Состав этой шихты был: Г—25—26%, Ж—47—48%, ОС—27—28%. За продолжительное время работы на такой шихте (до 1955 г.) получался доменный кокс удовлетворительного качества, характеризовавшийся прочностью в барабане на уровне 337—343 кг, индексом прочности по Л. М. Сапожникову на уровне 65—70 баллов и коэффициентом газопроницаемости по К. И. Сыскову на уровне 265—273 единицы. Производительность доменных печей и расход кокса на тонну чугуна сохранились на прежнем уровне, когда в шихте участвовали угли марки К в количестве 25%.

Более чем пятилетняя работа Донецкого коксохимического завода показывает, что из угольной шихты с содержанием 25% газовых донецких углей может быть получен доменный кокс удовлетворительного качества.

Основным вариантом этой шихты является следующий состав: Г—25%, ОС—30% и Ж—45%. Есть все основания утверждать, что шихты такого состава без углей марки К можно применять на ряде других заводов, во всяком случае на тех заводах, где работают доменные печи средних размеров.

В 1949 г. бригадой УХИНа под руководством С. А. Шварца были проведены на Криворожском коксохимическом заводе

опыты по коксованию шихт с 30% газовых углей. Состав опытной шихты на Криворожском коксохимическом заводе с содержанием 30% газовых углей был следующим: Г—30%, Ж—29%, К—18% и ОС—23%.

Выход летучих веществ на горючую массу шихты составил 27,1%. Качество опытного кокса характеризуется следующими данными: зольность в пределах 9,8—11,4%, сернистость изменялась от 1,73 до 1,96%, средняя механическая прочность в стандартном барабане—322 кг. Доменная печь Криворожского металлургического завода объемом в 1300 м³ на опытном коксе работала ровно без осадок при почти постоянном давлении колошникового газа.

Показатели, достигнутые в 1949 г. на Криворожском заводе, не отвечают современным требованиям к качеству кокса, определяемым более высоким уровнем в работе доменных печей. Возникла необходимость дальнейшего улучшения качества кокса, получаемого из шихты с содержанием 30% газовых углей. В связи с этим в 1955 г. на Ждановском коксохимическом заводе были проведены повторные опыты коксования шихты с участием 30% газовых углей. Опыты проводились УХИНОм и Украинским институтом металлов совместно с металлургическими заводами «Азовсталь» и им. Ильича и Ждановским коксохимическим заводом. Кокс, полученный из шихты, в составе: Г—30%, Ж—30%, К—20% и ОС—20% — характеризовался остатком в стандартном барабане, равным 334 кг. Ситовый состав скипового кокса, полученного из опытной шихты, характеризовался высоким его составляла 58,7 мм против 60,8 мм. Фактическая среднежанием 30% газовых углей был более мелкий по сравнению с обычной производственной шихтой завода, средняя крупность его составляла 58,7 мм против 60,8 мм. Фракционная среднесуточная производительность доменных печей завода «Азовсталь» и завода им. Ильича, работавших на опытном коксе, практически не изменилась.

Положительные опыты на Криворожском и Ждановском заводах характеризуют шихту с 30% газовых углей как шихту перспективную. Шихты с содержанием до 40% донецких газовых углей коксовались еще в 1937 г. в шамотных печах с шириной камеры 300 и 350 мм. При этом исследовались шихты состава: Г—40%, Ж—40%, ОС—20% и Г—40%, Ж—30%, ОС—30%. При коксовании этих двух шихт был получен кокс с практически одинаковыми показателями по механической прочности 313—315 кг.

В 1956 г. на Харьковском коксохимическом заводе также проводились опыты по коксованию шихт с содержанием 40% газовых углей, описанные Ю. Б. Тютюнниковым и др. [110]. Бы-

ло прококсовано 9 различных шихт, давших кокс с остатком в барабане от 318 до 323 кг. Этими опытами установлено, что увеличение периода коксования с 13 до 16 час. для шихты состава: Г—40%, Ж—30% и ОС—30% практически не сказывается на показателе прочности кокса (315,1 против 313,7 кг). Крупность кокса возрастает с увеличением периода коксования (содержание фракции более 80 мм возрастает с 24,1 до 41,8%). Оценка качества кокса, полученного в этих опытах, является предварительной, так как все эти исследования не заканчивались опытными доменными плавками.

Кокс, полученный из шихты с 40% газовых углей, был проверен в доменных печах Макеевского металлургического завода во время экспериментов, проводившихся в 1950 г. на Макеевском коксохимическом заводе под руководством Л. М. Сапожникова, Е. М. Тайца, А. М. Мирошниченко и Я. М. Обуховского. Состав опытной шихты был следующим: Г—40%, Ж—23%, К—15% и ОС—22%. Остаток кокса из опытной шихты в стандартном барабане составил 338,6 кг, в то время как из обычной производственной шихты завода, содержащей 22% газовых углей, он в предопытный период равнялся 335,8 кг. В отдельные же смены и сутки опытного периода кокс из шихты с содержанием 40% газовых углей давал остаток в барабане 343 и даже 348 кг.

В работе доменных печей Макеевского металлургического завода им. Кирова, имеющих объем 1180 м³, при питании их обычным производственным коксом и затем опытными не произошло никаких изменений. Таким образом, этими опытами было установлено, что кокс из шихты с содержанием 40% газовых углей и 15% углей марки К оказался нормальным доменным коксом, ничем не отличающимся по своим свойствам от обычного доменного кокса.

Длительный опыт работы цеха № 2 Рутченковского коксохимического завода (б. Смоляниновский завод) подтвердил возможность получения литейного кокса КЛ-2 из шихт с участием 50% газовых углей [128]. Малозольные и малосернистые газовые угли треста «Красноармейскуголь» с успехом заменили дефицитные жирные угли. Все угли, входящие в шихту, измельчаются до содержания 90-91% класса 3—0 мм.

По-видимому, имеется возможность перевести и другие заводы, производящие литейный кокс, на шихты, в которых жирные угли заменены газовыми.

Все произведенные опыты по коксованию шихт с повышенным участием газовых углей (30—40%) подтверждают положение, что в состав этих шихт должны обязательно вводиться хорошо спекающиеся угли марки ОС или достаточное количество суммы углей марок ОС и К.

Всеми проведенными экспериментами и работами УХИНа установлено, что при коксовании шихт с увеличенным содержанием газовых углей возрастает выход химических продуктов коксования. Рост выхода бензола за последние годы на заводах УССР шел параллельно с увеличением содержания газовых углей в шихтах (см. табл. 27).

Таблица 27
СОДЕРЖАНИЕ ГАЗОВЫХ УГЛЕЙ
В ШИХТЕ И ВЫХОД СЫРОГО БЕНЗОЛА

Год	Содержание газовых углей в шихте %	Выход сырого бензола, % от сухого угля
1940	8,2	0,755
1950	14,5	0,935
1953	15,1	0,955
1955	16,8	0,976
1956	17,4	0,995
1957	18,9	1,000
1958	21,6	1,016

Конечно, приведенная в таблице динамика изменения выхода сырого бензола от сухой шихты, помимо изменений процента участия газовых углей в шихтах, объясняется также усовершенствованием технологии улавливания бензола.

Выходы смолы, составлявшие 3,2—3,3%, возросли с увеличением участия газовых углей в шихтах до 3,7%. Изменился также и состав каменноугольной смолы: выход нафталина возрос до 8,4—9,8%

вместо 3,4—3,8% до применения газовых углей.

Указанное обстоятельство имеет весьма важное значение, так как коксохимическая промышленность, помимо обеспечения черной металлургии коксом для доменного производства, является основным источником сырья для промышленности пластических масс и органического синтеза.

В настоящее время работами УХИНа и Гипрококса доказана целесообразность самостоятельного коксования газовых углей с получением энергетического топлива и химических продуктов коксования. При этом реализуется наиболее рациональный путь использования каменных углей — комплексная химико-энергетическая их переработка, в результате которой из топлива извлекаются все ценные для народного хозяйства химические продукты, а оставшаяся после этого часть идет на энергетические нужды. Стоимость продуктов, получаемых при коксовании каменных углей, значительно выше стоимости тепловой энергии, вырабатываемой при их сжигании. Так, 1 т донецкого газового угля с учетом его фактической теплотворности обеспечивает производство 1200 квт-ч электроэнергии стоимостью 132 руб. Стоимость же полученных при коксовании 1 т газового угля только первичных продуктов превышает 200 руб., а при глубокой переработке смолы и сырого бензола и получении серной кислоты из сероводорода коксового газа ценность продукции увеличивается еще во много раз.

Кокс из газового угля на коксогазохимических заводах будет стоить значительно ниже оптовой цены донецкого газового угля. Такая низкая себестоимость кокса (вследствие увеличения выхода дорогих химических продуктов) позволяет считать, что он может быть использован различными потребителями, применяющими в настоящее время газовые и длиннопламенные угли для энергетических и коммунальных нужд, взамен этих углей. Кокс из газовых углей найдет себе широкое применение для агломерации железных руд.

К. А. Белов и В. М. Зайченко [277] считают целесообразным подвергать коксованию недробленые газовые угли с величиной кусков до 50—60 мм или недробленые отсеы этих углей. В этом случае упрощается схема подготовки угля к коксованию, отпадают затраты энергии на дробление угля и одновременно повышается его насыпной вес.

Проведенным опытным коксованием газовых углей (ЦОФ Доброполье 1/2) и их отсевов (класс 13—0 мм) показано, что получаемый кокс по внешнему виду и механической прочности практически не отличается от кокса, полученного из этого же угля при обычной степени измельчения.

Коксование газовых углей в камерных печах слоевым процессом дает кокс пониженного качества. Но из насыпной массы кокса можно выделить путем механической обработки и сортировки довольно большое количество удовлетворительного металлургического кокса для различных отраслей черной и цветной металлургии, для коммунального хозяйства, энергетики и агломерации железных руд. По сортировке кокса и свойствам классов кокса по крупности имеется интересное исследование А. С. Брука с сотрудниками [16в], работы В. Л. Кроля, П. А. Щукина и др. При сооружении коксогазохимических заводов на базе газовых углей такой вид сортировки будет весьма эффективно отражаться на всей работе предприятий.

Помимо использования газовых углей значительным источником расширения сырьевой базы коксования в Донецком бассейне является использование тощих углей.

Основные месторождения тощих углей в Донецком бассейне находятся в Донец-Макеевском (трест «Советсуголь»), Алмазно-Марьевском и Енакиевском (трест «Орджоникидзеуголь») районах. Разведанные запасы тощих углей, по данным ДОНУГИ, характеризуются пониженной сернистостью, что иллюстрируется данными, приводимыми в табл. 28.

В довоенное время проводились неоднократные эксперименты по внедрению малосернистых неспекающихся углей марки ОС (с нулевым пластическим слоем) в шихтах некоторых коксохимических заводов (например, опыты Д. В. Нагорского, Н. П. Чижевского и Ф. А. Попутникова на Щербиновском коксо-

химическом заводе). Однако эти угли не были внедрены в производство кокса. Серьезных попыток по внедрению собственно тощих углей не делалось. Причиной этого являлось то обстоятельство, что применение в шихтах для коксования тощих углей невозможно без их тонкого измельчения. Отсутствие на коксохимических заводах соответствующих помольных устройств и значительное снижение выходов химических продуктов коксования задерживало применение тощих углей для коксования.

Т а б л и ц а 28

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПО ГРУППАМ СЕРНИСТОСТИ ЗАПАСОВ УГЛЕЙ
В ДОНБАССЕ ДО ГЛУБИНЫ 600 м ПО ДАННЫМ ДОНУГИ

Марка	Группы по сере, %			
	до 1,5	1,6—2,5	2,6—3,5	более 3,5
Т	17,9	59,1	17,2	5,8
Д	2,7	4,1	86,3	6,9
Г	4,4	44,6	18,5	32,5
Ж	12,1	11,7	36,2	40,0
К	18,0	11,2	52,3	18,5
ОС	13,9	15,4	43,4	27,3
В среднем	10,3	22,1	41,7	25,9

Тощие угли при коксовании их не проходят стадию пластического состояния. Это объясняется тем, что они находятся на крайней стадии метаморфизма. При подборе шихт с участием тощих углей необходимо, чтобы оптимальное количество и качество пластической угольной массы создавалось благоприятным сочетанием остальных компонентов угольной шихты. В связи с этим необходимо, чтобы в состав шихты одновременно с тощими углями вводились угли марок Г и Ж, обеспечивающих нужное количество пластической массы, и угли марки К, обеспечивающие соответствующее ее качество. В этом случае угольная шихта в период пластического состояния будет создавать достаточное давление расприрания для получения полукокса и кокса благоприятной структуры.

Наиболее значительные эксперименты по применению тощих углей в шихтах были проведены в послевоенные годы (1949—1956 гг.) на Харьковском, Кадиевском, Смоляниновском, Криворожском, Новомакеевском, Рутченковском и Баглейском коксохимических заводах. Целью этих экспериментов была проверка возможности применения малосернистых тощих углей для производства литейного и доменного кокса. Проведенные Я. М. Обуховским [80а] исследования на Смоляниновском заводе показа-

ли, что особенно выгодно применять тощие угли для производства литейного кокса, так как в этом случае высвобождаются ценные малосернистые угли, особенно марки ОС, которые могут быть направлены для производства доменного кокса.

Проведенными экспериментами установлен рациональный состав угольной шихты для производства литейного кокса: Т—10—15%, К—30—35%, Ж+Г—60—65%. Из этой смеси получается литейный кокс удовлетворительного качества при условии тонкого измельчения тощих углей (100% класса 0—3 мм). Остальные компоненты шихты необходимо дробить до 90—92% класса 0—3 мм. Отсюда следует, что при использовании тощих углей для коксования должно быть обеспечено раздельное дробление компонентов шихты. Тощие угли в шихтах коксохимических заводов для производства литейного кокса внедрены в производство. Некоторые коксохимические заводы (например, Смоляниновский) годами работали на шихтах с участием тощих углей, производя вполне удовлетворительного качества литейный кокс.

Гораздо труднее задача по внедрению тощих углей в шихты коксохимических заводов для производства доменного кокса, так как к качеству доменного кокса предъявляются более жесткие требования, чем к качеству литейного кокса. По ГОСТ 513—54, например, остаток при опробовании доменного кокса в стандартном барабане должен быть не менее 332 кг, а по ГОСТ 3340—49 для литейного кокса этот предельный остаток должен быть только 290 кг, т. е. на 42 кг меньше, чем для доменного кокса. В последнее десятилетие были проведены большие экспериментальные работы по коксованию тощих углей в составе угольных шихт Новомакеевского, Рутченковского и Баглейского коксохимических заводов. До проведения этих экспериментов на всех названных заводах были выстроены специальные установки для тонкого дробления тощих углей, производительность которых позволяла вводить в шихту до 15% тощих углей. Установки эти осуществляли дробление тощих углей по двум схемам:

а) последовательным дроблением их в двух молотковых дробилках;

б) последовательным дроблением в молотковой дробилке и в шаровой мельнице.

Наиболее длительные эксперименты с испытанием полученного кокса в доменных печах были проведены на Новомакеевском коксохимическом и Макеевском металлургическом заводах с 1950 по 1953 г.

При работе установки по дроблению тощих углей на Новомакеевском коксохимическом заводе достигалась степень измельчения в 98—100% класса менее 2 мм. При этом коксова-

лись шихты с содержанием 5, 7,5 и 10% тощих углей. Состав шихты с 10% тощих углей был следующий: Т — 10%, ОС — 10%, К — 25%, Г — 15% и Ж — 40%.

Прочность кокса по барабану при этом снизилась на 5 кг остатка, т. е. качество кокса несколько ухудшилось. В связи с изложенным необходимо отметить, что применение тощих углей с целью получения кокса для доменных печей может быть признано целесообразным только при неустранимом дефиците углей марки ОС.

Особый интерес для получения металлургического кокса представляет применение антрацитов в качестве отошающей добавки. В Донбассе запасы и добыча малосернистых антрацитов могут полностью удовлетворить потребность в нем, затраты на добычу антрацитов значительно ниже, чем затраты на добычу углей других марок.

В 1959—1960 гг. институтами «УкрНИИУглеобогащение» и «НИИУглеобогащение» были поставлены широкие лабораторные, полупромышленные и промышленные исследования по подготовке и коксованию шихт с участием антрацита и увеличенным содержанием газовых углей.

Исследованиями были установлены оптимальный помол и верхний предел крупности каждого компонента и шихты для коксования.

Угли марки Г измельчались до 93% ниже 2 мм. В последующем, на основе экспериментов, принят помол для газового угля 93—94% класса ниже 3 мм. Марка Ж измельчалась до 3 мм — 87—90%; антрацит до 1 мм — 99% при содержании класса 0—0,5 мм не менее 60%.

Подготовка антрацита и газового угля производилась на типовой быстроходной молотковой дробилке с 1500 об/мин, 51 молотком, на колосниковой решетке из полосы 90 × 10 мм с зазорами на входе 5 мм и на выходе 8 мм.

Опытами установлено, что однократное измельчение антрацита обеспечивает выход классов: 1 мм — 16,5%; 0,5 мм — 38,5%; 0—0,5 мм — 45%. Повторное измельчение антрацита в тех же условиях также не обеспечило требуемого измельчения.

По-видимому, при совместном дроблении крупных зерен с тонкими затрудняется измельчение крупных зерен ввиду смятения ударного действия молотков дробилки подушкой тонких зерен. Исходя из этого, была принята сепарация дробленого антрацита с получением конечного продукта — пыли при замкнутом цикле дробления. Для сепарации применен центробежный обеспыливатель ОЦ-3,5 завода им. Пархоменко. При сепарации антрацита на 146 об/мин с циркуляцией через дробилку получен выход класса 1 мм — 0,4%; 0,5—1 мм — 12,5%; 0—0,5 мм — 87,1%.

При дроблении газового угля (концентрат ЦОФ Доброполье) при влаге 8,8% с применением сепарации на обеспыливателе с числом оборотов 192 в минуту и циркуляцией получены выходы классов 2 мм — 3,5%; 1—2 мм — 15%; 0—1 мм — 81,5%.

Исследования дробимости газовых углей также проводились в углеразмельной установке Коммунарского коксохимического завода на быстроходной типовой дробилке с 1500 об/мин, 70 молотками, на сплошной рифленой плите с разгрузочным окном. Дроблению подвергали смесь газовых углей: шахты Октябрьская, концентраты ОФ Белореченская и ЦОФ Ново-Голубовская (обычная шихта газовых углей завода) с влажностью 8,0%. Измельченная смесь газовых углей при однократном дроблении содержала 94% класса 0—3 мм.

Применение более мощной дробилки со сплошной рифленой решеткой и выгрузкой дробленого материала через разгрузочное окно обеспечивает требуемую степень помола без дополнительной сепарации и додробливания крупки.

Промышленное коксование опытной шихты проводили в печах Коммунарского коксохимического завода. Предварительно подготовленные на Кадиевском коксохимическом заводе антрацит и газовый уголь через дозировочные столы шихтовались с углем марки Ж (концентрат Ново-Узловской ЦОФ). Концентрат имел до 50% класса 0—1 мм вследствие большого участия флотконцентрата и угольного шлама. Характеристика компонентов шихты приведена в табл. 29.

Таблица 29

ХАРАКТЕРИСТИКА КОМПОНЕНТОВ ШИХТЫ

Угли	Марка	Количество, %	WР %	Ас %	УГ %	Sc _{Общ} %	x мм	у мм	Насыпной вес, г/см ³
Концентрат Ново-Узловской ЦОФ	Ж	45,0	7,9	7,7	27,8	2,67	9	22	—
Концентрат Добропольской ЦОФ	Г	40,0	8,6	5,7	35,7	1,32	33	10	0,76
Антрацит шахты 7—8 треста «Краснолучуголь» . .	А	15,0	4,0	8,1	8,35	1,62	3	3	0,89

Шихта с дозировочных столов подавалась в отделение окончательного дробления для измельчения в основном угля марки Ж и смешения в дробилке (750 об/мин).

Технический анализ шихты: W —8,2%; A^c —7,0%; V^r —28,9%; $S_{\text{общ}}^c$ —1,84%; x —33 мм; y —15 мм; насыпной вес—0,72 г/см³.

Ситовый состав шихты

Крупность, мм	+6	6—3	3—2	2—1	1—0,5	0,5—0,25	0,25—0
Выход, %	1,4	5,3	5,1	6,1	20,6	10,8	50,7

Коксование производилось серийно с выдачей 190 т опытного кокса. Период коксования 15 час., температура в контрольных вертикалах с машинной стороны 1260—1280°, с коксовой

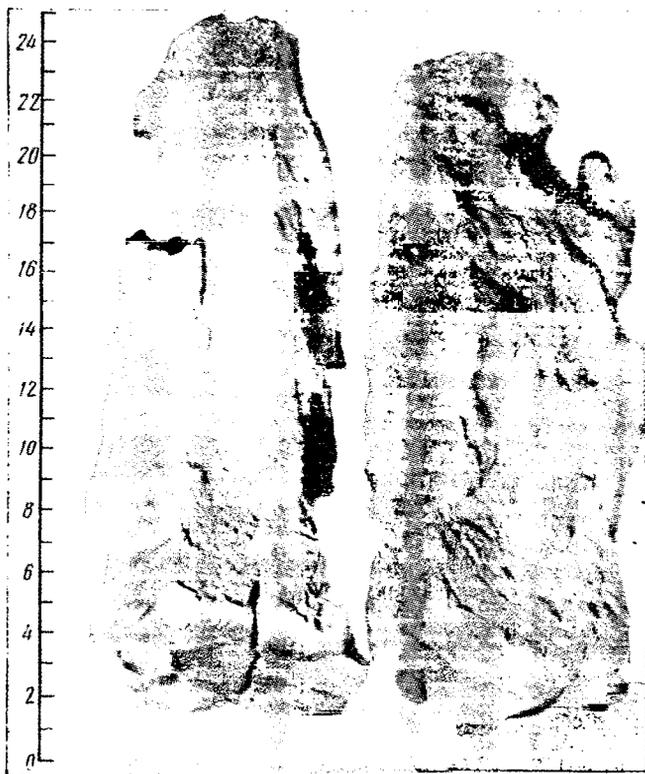


Рис. 65. Опытный кокс из шихты, содержащей 15% антрацита, 40% газовых углей и 45% жирных углей

стороны 1315—1350°. Температура по оси коксового пирога за 15 мин. до выдачи на 2100 мм от пода печи с коксовой стороны 994°, с машинной стороны 954°. Коксовый пирог легко вы-

давался из печей, кокс серебристо-серого цвета, крупнокусковой, следов вкраплений антрацита не наблюдалось (рис. 65). Механическая прочность кокса приведена в табл. 30, крупность валового кокса указана в табл. 31.

Таблица 30

МЕХАНИЧЕСКАЯ ПРОЧНОСТЬ КОКСА

Кокс	Остаток в стандартном барабане кг	Ситовый состав провала, кг		
		+25 мм	25—10 мм	0—10 мм
Опытный	336	25,6	8,6	39,7
Заводской	337	25,0	8,0	40,0

Таблица 31

КРУПНОСТЬ ВАЛОВОГО КОКСА

Кокс	+80 мм	80—60 мм	60—40 мм	40—25 мм	25—0 мм	Сумма классов, %	
						+40 мм	+25 мм
Опытный	20,2	33,7	37,0	5,0	2,4	92,5	97,5
Заводской	8,6	34,13	44,5	9,83	2,94	87,25	97,06

Опытный кокс по механической прочности и ситовому составу не уступает заводскому коксу, а по сумме классов +40 выше на 5,25%.

Истинный удельный вес — 1,745; кажущийся удельный вес — 1,025; пористость — 43%; трещиноватость: поперечная — 0,0656 см/см², продольная — 0,0481 см/см², обшая — 0,1137 см/см², отношение поперечной трещиноватости к продольной — 1,36; реакционная способность (по константе скорости реакции и энергии активации в интервале температур 950—1250°) значительно выше, чем у кокса Ждановского коксохимического завода.

Высокая плотность (открытая пористость — 40,5%) и высокая горючесть опытного кокса, по-видимому, позволяют использовать его в литейном производстве.

Полученные результаты на опытном коксе дают основание полагать, что при условии тонкого измельчения антрацита и дифференцированного измельчения остальных компонентов при участии в шихте до 15% антрацитов можно получить удовлетворительный по качеству кокс.

Окончательная оценка использования антрацита в шихте будет дана после проведения опытной доменной плавки на коксе указанного состава.

Значительный интерес представляют также результаты экспериментов по применению в шихтах для производства доменного кокса длиннопламенных углей.

Основные запасы донецких длиннопламенных углей сосредоточены в Красноармейском, Лисичанском и Донецком районах. Геологические запасы их до глубины 1200 м составляют 13,5% от всех запасов углей. Основная масса добываемых донецких длиннопламенных углей относится к среднесернистым и многосернистым углям, что резко ограничивает возможность применения их для коксования.

Опытными промышленными коксованиями, выполненными УХИНОм [5], установлено, что шихта, состоящая из 70% длиннопламенных лисичанских углей и 30% углей марки Ж, при коксовании дает кокс с остатком в барабане Сундгрена в 287 кг, пригодный для использования в газогенераторах. Наряду с этим в Донбассе имеется небольшая группа шахт (Кураховское месторождение в Красноармейском районе), дающих длиннопламенные угли с содержанием серы 2—2,2% и с толщиной пластического слоя от 0 до 6 мм. Эти угли не являются перспективными для коксования. На основании проведенных Я. М. Обуховским [80б] экспериментов они могут рассматриваться как аварийный резерв для применения в шихтах коксохимических заводов только в случаях неустранимого дефицита углей марки ОС.

Наиболее крупные эксперименты по применению длиннопламенных углей в шихте с испытанием полученного кокса в доменных печах были проведены в 1952—1955 гг. на Енакиевском коксохимическом и металлургическом заводах. Работы были выполнены под руководством УХИНа, Украинского института металлов и ДОНУГИ.

При проведении экспериментов в состав шихты коксохимического завода вводилось от 5 до 10% длиннопламенных углей. Из опытной угольной шихты с участием 10% длиннопламенных углей (состав ее: Д — 10%, Г — 15%, Ж — 50% и К — 25%) был получен кокс с механической прочностью по барабану на 3—7 кг меньшей, чем прочность кокса из обычной производственной шихты (332—337 кг вместо 340 кг). В связи с возросшим выходом летучих веществ в опытной шихте выход валового кокса снизился на 3%. Доменные печи среднего объема (полезный объем 700—790 м³) работали на этом ухудшенном коксе удовлетворительно.

Примерно аналогичные показатели были получены при испытании в 1954 г. шихты с участием 10% длиннопламенных углей

на Днепропетровском коксохимическом заводе и при проверке полученного кокса доменными плавками на доменных печах завода им. Петровского.

В результате этих экспериментов также было подтверждено, что использование длиннопламенных углей в качестве отощающей добавки может быть допущено только в случае острого дефицита углей марки ОС.

В связи с увеличенным выходом летучих веществ при коксовании шихт с участием длиннопламенных углей несколько возрастает выход газа и химических продуктов коксования. Так, при проведении длительных экспериментов на Енакиевском коксохимическом заводе было установлено, что выход бензола увеличился на 0,1%, смолы на 0,4% и коксового газа на 4% (от сухой шихты).

2. ПЕРСПЕКТИВЫ РАСШИРЕНИЯ УГОЛЬНОЙ БАЗЫ КОКСОВАНИЯ

По данным А. М. Мирошниченко и Б. И. Штромберга [72], при разработке перспективных шихт на 1965 г. для основных заводов намечаются шихты с участием до 25% газовых углей при следующем долевом участии углей других марок: Ж — 34—35%; К — 21—20%; ОС — 18—20%. На отдельных заводах содержание газовых углей будет доведено до 30% при участии в шихте 30% жирных углей и 40% суммы К+ОС. В случае дефицита отощенных спекающихся углей смогут найти применение тощие и длиннопламенные угли.

Для производства неметаллургического кокса могут быть использованы шихты с содержанием 80—100% газовых углей.

В более отдаленной перспективе (1975 г.), по данным УХИНа, могут быть приняты следующие типовые шихты для основных заводов:

а) заводы, производящие кокс в печах большого объема и снабжающие коксом мощные доменные печи: Г — 26—28%; Ж — 35—34%; К — 19—21%; ОС — 18—19%;

б) заводы, снабжающие коксом доменные печи среднего объема: Г — 30%; Ж — 31—33%; К — 19—20%; ОС — 20—18%.

В шихтах заводов, производящих литейный кокс, предусматривается использование до 15% тощих углей.

Средний марочный состав угольной базы коксования в 1975 г., не учитывая шихт для коксгазовых заводов и без тощих углей, представляется в следующем виде: Г — 27%, Ж — 35%, К — 20%; ОС — 18%.

Опыт работы коксохимической промышленности, а также результаты исследований показывают, что из шихт намеченного

состава можно получить удовлетворительный кокс для современных доменных печей.

Шихты с участием 25% газовых углей уже освоены на ряде крупных украинских коксохимических заводов. Как было показано выше, шихты с участием 30% газовых углей также могут быть внедрены.

Практика работы заводов и опытно-промышленные коксования показали, что при производстве кокса для доменных печей большой мощности шихты с участием 5—10% тощих углей могут применяться только в условиях дефицита углей марки ОС. Использование длиннопламенных углей для получения доменного кокса целесообразно только в случае острого дефицита углей марки ОС.

Вопрос о широком использовании для производства металлургического кокса донецкого антрацита может быть решен после проведения опытных доменных плавов на коксе из донецких шихт с участием антрацита.

Потребность в углях для получения металлургического кокса в 1975 г. может быть удовлетворена при доведении долевого участия газовых углей в шихтах в среднем по югу и центру европейской части СССР до 27%, а на отдельных заводах до 30%.

Для сохранения сернистости кокса на существующем уровне необходимо развивать шахтное строительство в Южном и Западном Донбассе на газовых углях с содержанием серы ниже 2,5%.

Увеличение доли газовых углей в шихтах для коксования может вызвать некоторое ухудшение ситового состава кокса. Для уменьшения содержания в доменном коксе класса 40—25 мм следует предусмотреть на заводах, производящих кокс для мощных доменных печей, выделение доменного кокса крупнее 40 мм.

Расширение сырьевой базы коксования на Юге, помимо изменений состава шихт в направлении увеличения содержания в них главным образом газовых, а также в некоторых случаях тощих или длиннопламенных углей, связано с проведением ряда мероприятий, совершенно необходимых для сохранения или улучшения качества металлургического кокса. К этим мероприятиям относятся:

- 1) усреднение качества углей и шихты для получения кокса постоянного качества по механическим свойствам и химическому анализу;

- 2) развитие обогащения коксующихся углей путем усовершенствования существующих и строительства новых углеобогачительных фабрик с применением новых эффективных методов обогащения (методы тяжелых суспензий, центробежной сепарации и т. п.);

3) снижение влажности шихты для коксования до требуемых кондиций путем внедрения высокопроизводительных центрифуг и сооружения термосушильных отделений для сушки концентратов;

4) внедрение дифференцированного измельчения компонентов шихты.

В настоящее время качество углей и шихт колеблется в очень широких пределах по всем основным показателям, что вызывает колебания качества доменного кокса. Это связано с тем обстоятельством, что особенностью шахт Донецкого бассейна является разработка большого количества пластов, уголь которых выдается совместно в виде одной марки. По своему качеству угли Донецкого бассейна весьма разнообразны и относятся ко всем известным сортам каменных углей.

В связи с этим для улучшения качества кокса по равномерности должно быть организовано усреднение углей и шихты на всех стадиях добычи, погрузки, складирования и подготовки углей для коксования.

Обогащение углей обычно рассматривалось только как метод удаления минеральных примесей и увеличения горючей части топлива. Однако роль обогащения в подготовке шихты для коксования гораздо шире. Дело в том, что зола является минеральным негорючим балластом в коксе; кроме того, зольные включения являются источниками образования трещин в коксе. Повышение содержания золы в коксе всегда при прочих равных условиях связано с увеличением его трещиноватости и уменьшением механической прочности по барабану.

В результате обогащения обеспечивается расширение сырьевой базы коксования, так как при этом можно при соответствующей глубине его привлечь для коксования высокозольные и многосернистые забалансовые угли. Более того, обогащение улучшает коксуюемость углей. Рядом исследователей (И. Е. Коробчанский, С. И. Панченко, А. З. Юровский) установлено, что с изменением глубины обогащения увеличивается толщина пластического слоя обогащенного концентрата.

Таким образом, обогащение углей является важнейшим средством получения доменного кокса однородной структуры с высокими механическими свойствами и представляет технологический процесс, который должен обязательно предшествовать коксованию.

На углеобогатительных фабриках коксохимических заводов Донбасса потери углей в виде энергетического шлама составляют 1,4%, а выход промпродукта достигает 5,6%. В то же время на Днепродзержинском и Горловском заводах выпуск шлама снижен до 0,5%. Промпродукт следует подвергать переобогащению.

Развитие обогащения значительно расширяет возможности использования коксования жирных и газовых углей, применяемых в настоящее время для энергетических целей. Зольность концентратов из газовых углей следует доводить до минимальных значений и вследствие этого снижать среднюю зольность шихты.

В связи с развитием обогащения как мощного рычага по расширению угольной базы коксования в Донецком бассейне, нужно особо остановиться на безусловной необходимости проведения мероприятий по снижению влаги шихты для коксования.

В последние годы почти на всех углеобогатительных фабриках Донбасса и Приднепровья сооружены флотационные отделения для обогащения угольного шлама. Внедрение флотации явилось средством значительного увеличения выхода шихты. Так, в 1950 г. средний выход шихты на углеобогатительных фабриках Юга составил 72,5%, а в 1958 г. после сооружения и освоения ряда флотационных отделений он возрос до 79%. Это дало большую экономию в расходе коксующихся углей на тонну кокса и в денежном выражении (свыше 1 млрд. руб. в год). Однако вследствие повышенной влаги флотоконцентрата на всех без исключения коксохимических заводах, имеющих углеобогатительные фабрики с флотационными отделениями, влажность шихты систематически увеличивалась (на 2—2,5%). Повышенная влажность шихты (11,5—12,5%) увеличивает расход тепла на обогрев, удлиняет период коксования, снижая производительность коксовых печей, вызывает в ряде случаев тяжелый ход и бурение печей, отрицательно влияет на сохранность огнеупорной диасовой кладки из-за большого отъема тепла от стен камер и резкого снижения температуры стен в момент загрузки.

На некоторых заводах установлено растрескивание поверхностного слоя диасового кирпича стен коксовых камер из-за его переохлаждения при загрузке. В связи с этим уровень влажности шихты является важнейшим показателем. Для снижения уровня влажности до величины не выше 8—9% должны внедряться эффективные обезвоживающие центрифуги для мелкого концентрата и сооружаться термосушильные отделения для сушки флотоконцентрата.

Глава X

РАСШИРЕНИЕ УГОЛЬНОЙ БАЗЫ КОКСОВАНИЯ НА ВОСТОКЕ

Развитие коксохимической промышленности Востока базируется на углях Кузнецкого, Карагандинского и Кизеловского бассейнов. За последние годы, особенно в связи с вводом в эксплуатацию Череповецкого металлургического завода и быстрым его развитием, среди коксующихся углей для коксохимической промышленности Российской Федерации резко возрос удельный вес углей Печорского бассейна. Но основной угольной базой коксохимической промышленности РСФСР является Кузнецкий бассейн, удельный вес которого в поставке углей на коксование составляет по Союзу более 30 % и по РСФСР около 80 %.

Добыча углей для коксования в Кузнецком бассейне развивалась очень быстро, особенно после создания второй угольно-металлургической базы на Востоке.

Динамика добычи углей в Кузнецком Бассейне с 1913 по 1958 г. (в млн. т) характеризуется следующими цифрами:

1913	1928	1932	1937	1940	1945	1950	1955	1958
0,8	2,6	7,3	17,8	22,5	30,0	38,5	58,5	75,3

Доля углей, используемых для коксования, составляет примерно 30 % от общей добычи.

В 1965 г., по данным Госплана СССР, из общей намечаемой потребности в коксующихся углях восточных заводов в количестве 60 млн. т кузнецких углей потребуется 40 млн. т против 29,5 млн. т в 1961 г. В связи с этим Кузнецкий бассейн имеет решающее значение в развитии черной металлургии Востока. В Кузнецком бассейне имеются очень большие запасы малозольных и малосернистых углей, пригодных для коксования. Общегеологические запасы каменных углей Кузнецкого бассейна по подсчету 1956 г. составляют огромную величину — 905 млрд. т, в том числе углей для коксования 200 млрд. т. Общая добыча углей в бассейне составила в 1960 г. 84 млн. т, в том числе углей для коксования 28,5 млн. т.

В Кузнецком бассейне, так же как и в Донецком, доля спекающихся углей основных марок в добыче гораздо больше, чем их доля в балансовых запасах, по газовым же углям соотношение обратное. Это наглядно подтверждается цифровыми данными табл. 32.

Таблица 32

ДОЛЯ УГЛЕЙ РАЗЛИЧНЫХ МАРОК В БАЛАНСОВЫХ ЗАПАСАХ И В ДОБЫЧЕ

Марки углей	Балансовые запасы на 1 января 1957 г. в % к итогу	Добыча 1957 г. в % к итогу **
Ж, К, ОС	30,7	41,1
Г	28,7	13,9
Д *1	3,2	4,2
Т *2	14,8	5,2
СС	11,6	35,6
А (антрациты)	0,3	—
Прочие **	10,7	—

*1 Включено некоторое количество невыделенных углей группы ГД.

*2 Включено некоторое количество невыделенных углей группы ТС.

*3 Включены нераспределенные по маркам энергетические угли, окисленные и некоторые другие угли.

*4 По данным Центротинопрошхта, которые не в полной мере сопоставимы.

Доля углей отдельных марок в шихтах для коксования (в % к итогу по годам) характеризуется данными табл. 33.

Таблица 33

ДОЛЯ УГЛЕЙ ОТДЕЛЬНЫХ МАРОК В ШИХТЕ ДЛЯ КОКСОВАНИЯ

Марка углей	Годы					
	1951	1953	1954	1955	1956	1958
К ₁ К ₂	48,8	48,7	51,3	51,2	50,6	48,1
ПС	9,6	8,5	5,2	5,0	6,4	6,6
СС	1,1	3,9	4,5	5,0	5,6	3,7
ПЖ	29,2	28,9	29,3	31,2	29,0	29,6
Г	11,3	10,0	9,7	7,6	8,4	12,0

Карагандинский бассейн является третьей угольной базой СССР. Общие геологические запасы бассейна на 1/1 1957 г. оценялись в 51 млрд. т.

Добыча угля в Карагандинском бассейне росла быстрыми темпами и в 1940 г. достигла 6,3 млн. т, а в 1958 г. — 24,3 млн. т. Для нужд коксования из этого количества шло около 15%. Главной причиной такого небольшого использования для коксования карагандинских углей является их высокая зольность и совершенно недостаточное развитие обогащения. Зольность отгружаемых карагандинских углей составляет в среднем около 20%. Исключением являются коксовые отощенные угли (марки КО), характеризующиеся пониженной зольностью и сравнительно легкой обогатимостью. Карагандинские угли содержат мало серы (до 1%) и очень чисты по фосфору (содержание фосфора колеблется от 0,01 до 0,05%, но редко превышает 0,015%).

Доля Карагандинского бассейна в поставке углей для коксования по стране в целом составляет 5—6%. Однако в связи с вводом в эксплуатацию Карагандинского металлургического завода и сооружением ряда новых коксовых батарей на других восточных металлургических заводах участие Карагандинского бассейна в снабжении заводов черной металлургии углями для коксования должно сильно возрасти.

Для развития Карагандинского угольного бассейна как третьей угольной базы СССР важнейшее значение имеет строительство шахт и увеличение добычи жирных и коксово-жирных углей в Чурубай-Нурунском и Тентекском районах бассейна (долинские и аналогичные им по характеристикам пласты). Сочетание хорошо коксующихся углей Чурубай-Нурунского и Тентекского районов с коксовыми отощенными углями Промышленного и Саранского участков Карагандинского района создает условия для усиленного развития Карагандинского бассейна.

Угли Кизеловского угольного бассейна по выходу летучих веществ являются газовыми углями. Значительная часть их обладает свойствами жирных и коксово-жирных углей. Кизеловские угли содержат много серы (в среднем 6%) и золы (от 18 до 32%) и отличаются трудной обогатимостью. В связи с этим они не применяются для производства доменного кокса. Губахинский коксохимический завод, работающий на углях Кизеловского бассейна, производит кокс, используемый для нужд цветной металлургии. Промышленные запасы углей этого бассейна невелики, на коксование идет ежегодно только 2 млн. т рядовых углей.

В связи с дефицитом энергетических углей на Урале кизеловские угли усиленно расходуются на энергетические нужды.

Печорский бассейн занимает четвертое место в снабжении углем страны. Балансовые запасы спекающихся углей в Печор-

ском бассейне превышают запасы Донецкого и Карагандинского бассейнов, вместе взятых. Участие в запасах жирных углей марок Ж19 и Ж10 составляет более 40%, а коксовых и отоженных спекающихся 15%. На печорских углях в настоящее время работает коксохимический цех Череповецкого металлургического завода и Ленинградский коксогазовый завод. Кокс, полученный из печорских углей, очень хорошего качества и с успехом применяется для мощных доменных печей и в литейном производстве.

Расширение угольной базы для коксования в Кузнецком и Карагандинском угольных бассейнах является неотложной задачей.

Анализ цифр приведенных выше таблиц показывает, что задача эта должна решаться для Кузнецкого бассейна главным образом путем введения в шихты для коксования газовых и слабоспекающихся углей.

В решении этой задачи для Кузнецкого бассейна по сравнению с Донецким имеются свои специфические особенности.

Кузнецкие угли отличаются низкой сернистостью (содержание серы в них 0,5—0,7%), сравнительно небольшой зольностью (10—15%) и меньшей спекаемостью, чем угли Донецкого бассейна. В связи с этим кокс из кузнецких углей имеет меньшее содержание серы (0,5—0,6%) и меньший показатель механической прочности по барабану по сравнению с донецким коксом (308—312 кг против 336—340 кг).

Рост участия газовых углей в шихтах восточных коксохимических заводов за последние годы гораздо меньший, чем для заводов Юга. Объясняется это главным образом тем обстоятельством, что увеличение участия газовых и слабоспекающихся углей в шихтах восточных коксохимических заводов в противоположность Югу связано с необходимостью проведения крупных технических мероприятий, требующих значительных капитальных затрат.

Основной предпосылкой значительного расширения угольной базы коксования в Кузнецком и Карагандинском бассейнах является развитие обогащения углей. Состояние дела обогащения коксующихся углей в Кузнецком бассейне характеризуется следующими данными:

1. В основном угли обогащаются пневматическим методом. В 1959 г. доля углей, обогащенных на фабриках пневматического обогащения, составила 71%, а углей, перерабатываемых на фабриках мокрого обогащения, — 29%.

Пневматический метод получил в бассейне широкое распространение в годы Великой Отечественной войны, когда потребовалось быстро осуществить строительство простых и дешевых фабрик для обогащения легкообогатимых и относительно мало-

зольных кузнецких углей в целях обеспечения обогащенными углями коксохимических установок Урала и Западной Сибири.

Опыт эксплуатации пневматических углеобогажительных фабрик показал несовершенство этого метода. На пневматических углеобогажительных фабриках нельзя без больших потерь добиться нужного качества обогащенного угля.

Концентраты пневматического обогащения содержат значительное количество промежуточных и особенно породных фракций. Если содержание породных фракций в концентрате мокрого обогащения составляет 0,8%, то среднее содержание этих фракций в концентрате пневматического обогащения составляет 2,8%. На отдельных фабриках (Коксовая 2, им. Калинина, Капитальная 1 и др.) содержание породных фракций в отдельные периоды составляет 7—10%.

2. Из-за недостатка мощностей по обогащению из года в год возрастает использование на коксование углей в необогащенном виде. В 1959 г. таких углей было направлено на коксование 1785 тыс. т, а в 1960 г. — около 2700 тыс. т. По той же причине значительные количества коксующихся углей, которые можно было бы использовать для производства кокса, отгружаются на энергетические цели из-за их высокой зольности.

В 1957 г. отгрузка коксующихся углей на энергетические цели составила около 2,5 млн. т.

В результате систематического ухудшения состава и качества угольных шихт качество кокса восточных заводов за последние годы неизменно понижалось. Зольность кокса с 1955 по 1959 г. возросла с 11 до 11,6%. Барабанная проба снизилась за тот же период времени с 319 до 315 кг, а к концу 1960 г. — до 308 кг.

Приведенная характеристика состояния дела обогащения кузнецких углей показывает, какие огромные возможности расширения угольной базы коксования на Востоке заложены в развитии обогащения углей.

Необходимо форсировать строительство новых углеобогажительных фабрик, доведя их мощность до уровня, обеспечивающего обогащение тех количеств углей, которые нужны для питания действующих коксовых батарей.

Развитие добычи углей для коксования в Кузнецком и Карагандинском бассейнах намечается осуществить в основном путем освоения новых месторождений преимущественно с высокозольными и труднообогатимыми углями. По действующим шахтам также ожидается ухудшение качества добываемых углей — по зольности и содержанию влаги. Это требует значительного повышения технического уровня обогащения углей, широкого внедрения новых высокоэффективных методов обогащения.

При проектировании новых углеобогажительных фабрик не-

обходимо ориентироваться только на мокрый метод обогащения, отказавшись от применения пневматического метода.

Особое место среди кузнецких углей занимают угли Чертинского и Томь-Усинского месторождений. Это угли труднообогатимые, характеризующиеся высокой зольностью угольной фракции. Содержание промежуточных фракций в машинном классе 6—25 мм составляет в среднем 22,3% (по Чертинской ГОФ) и 29,1% (по ОФ Томь-Усинской шахты 1-2). Для этих углей целесообразно применение обогащения в тяжелых суспензиях, которое позволяет получить лучшие результаты в отношении четкости разделения по выбранному удельному весу.

Весьма перспективной для углей Кузбасса и Караганды является комбинированная схема обогащения труднообогатимых углей, при которой крупные классы (+6—10 мм) обогащаются в тяжелых суспензиях, мелкие классы — в отсадочных машинах, а пыль и шлам флотируются.

Кроме хорошо коксующихся многозольных углей, в Кузбассе имеются значительные запасы малозольных слабоспекающихся или неспекающихся углей, которые в небольшом количестве используются в шихтах для коксования (например, пласты Мощный, Двойной, Безымянный). Обогащение таких углей должно быть в основном направлено на изменение их технологических свойств, а не на уменьшение зольности.

В процессе добычи петрографически неоднородных углей Кузбасса происходит естественное обогащение мелких классов хрупкими, блестящими и полублестящими компонентами угля, а крупных — более прочными матовыми и полуматовыми. Вследствие этого мелким классам полосчатых кузнецких углей, как правило, свойственна большая спекаемость, чем рядовому углю, из которого они выделены.

Если прошедшую естественное обогащение угольную мелочь подвергнуть дальнейшему обогащению в тяжелой среде, то спекаемость легких фракций будет значительно выше спекаемости исходного угля вследствие повышенной концентрации блестящих и полублестящих компонентов его.

Применяя обогащение угля крупностью +1 мм в тяжелых средах и селективную флотацию для угольной пыли (—1 мм), можно осуществить петрографическое обогащение угля и сконцентрировать блестящие компоненты, обуславливающие его спекаемость.

На этих принципах М. В. Циперович разработал схему глубокого обогащения слабоспекающихся петрографически неоднородных углей Кузбасса. Проведенные полузаводские испытания показали, что кокс, изготовленный из шихт, содержащих 20% концентрата, полученного в результате глубокого обога-

щения слабоспекающихся углей, значительно лучше по качеству, чем из шихты, содержащей рядовой уголь марки СС.

Произведенный М. В. Циперовичем анализ показывает, что только по Прокопьевско-Киселевскому району можно направить для глубокого обогащения около 5 млн. т угля в год, что позволит получить 1 млн. т концентрата повышенной спекаемости с зольностью, не превышающей 3,5—4%, около 3 млн. т сортированного угля для механизированных топок и отходы с золой 15—20% для приготовления пылевидного топлива.

В Карагандинском бассейне на 1959—1965 гг. намечается строительство и ввод в эксплуатацию мощной углеобогажительной фабрики при Карагандинском металлургическом заводе.

Технологическая схема этой фабрики предусматривает обогащение угля класса крупнее 10/12 мм в магнетитовой суспензии в сепараторах с элеваторным колесом, а угля класса 1—10/12 мм — на модернизированных беспоршневых отсадочных машинах.

Карагандинские угли будут обогащаться также на новой углеобогажительной фабрике при Магнитогорском металлургическом комбинате. Технологическая схема фабрики предусматривает обогащение крупного угля в тяжелых суспензиях, мелкого — в отсадочных машинах. Выход концентрата по проекту должен составить 60% при зольности 9% против фактического среднего выхода по действующим фабрикам Карагандинского бассейна 54—55% при зольности концентрата 9,8%. Даже не принимая во внимание предусмотренного значительного улучшения качества концентрата, которое ограничивает возможности повышения его выхода, проектируемое увеличение выхода при внедрении минеральных суспензий по сравнению с обычной отсадкой позволяет сэкономить 900 тыс. т рядового угля в год.

Этим примером иллюстрируются те большие возможности расширения угольной базы коксования на Востоке, которые заложены в применении эффективных методов обогащения для труднообогащаемых углей.

Помимо развития обогащения углей существенное расширение угольной базы коксования на Востоке может быть достигнуто путем внедрения ряда технических мероприятий по усовершенствованию схем подготовки углей перед коксованием.

В этом направлении значительные исследования были проведены Восточным научно-исследовательским углехимическим институтом ВНИИУглеобогащением и Московским химико-технологическим институтом им. Д. И. Менделеева.

Приведенные В. Д. Фришбергом, М. Е. Поповой и К. С. Перминой (ВУХИН) [117] опытные коксования шихт Кузнецкого бассейна с содержанием дюренов различной степени измельчения показали следующее:

18 А. А. Агроскин, А. К. Шелков

1. Измельчение дюренов коксовой и жирной стадий метаморфизма до 1 и 0,5 мм приводит к снижению прочности и крупности кокса. Так, прочность кокса (по остатку в барабане), полученного из шихты при измельчении дюренов до 1 мм на 5—15 кг, а при измельчении до 0,5 мм на 20—35 кг ниже по сравнению с коксом, полученным с участием дюренов, измельченных до 3 мм. Хотя дробимость кокса и повысилась, оплавленность его улучшилась, о чем свидетельствует пониженное содержание мелочи в провале (на 10—12 кг).

2. При измельчении дюренов отощенной и газовой стадий метаморфизма до 1 мм наблюдалось некоторое улучшение показателей сбрасывания и содержания в коксе крупных классов. При измельчении же до 0,5 мм наблюдается нарастание прочности и содержания в коксе крупных классов. В обоих случаях улучшается оплавленность кокса и содержание мелочи в провале уменьшается с 66—55 до 40—35 кг. Следовательно, тонкое измельчение дюренов отощенной и газовой стадий улучшает физико-механические свойства кокса.

3. Дюрены, измельченные до 3 и 1 мм, сохраняют в шихтах свои индивидуальные свойства; дробление же их до 0,5 мм приводит к сглаживанию этих особенностей. При этом из шихт с содержанием дюренов отощенной и газовой стадий, независимо от степени их измельчения, получается кокс худшего качества, чем из шихт с участием дюренов коксовой и жирной стадий, измельченных до 3 мм.

Желательно расширить исследования петрографического состава существующих производственных шихт и разработку типовых, основанных на оптимальном соотношении витреновых и дюреновых компонентов, определения необходимых пределов дробления для каждого типа дюрена.

Неодинаковая твердость ингредиентов угля может быть использована для улучшения состава шихт и расширения ассортимента углей, применяемых для коксования. Так, например, в Кузнецком бассейне могут быть более широко применены мелкие классы углей марки СС, обладающие более высокой спекаемостью. В Печорском бассейне целесообразно выделение для коксования крупных и особенно средних классов, содержащих наибольшее количество дюрена. Поэтому разделение углей на петрографические типы должно найти широкое применение как на шахте и обогатительных фабриках, так и в углеподготовительных цехах коксохимических заводов.

Особенности петрографических ингредиентов угля могут быть эффективно использованы для расширения ресурсов угля только при условии выделения из него породы и промежуточного продукта. Наличие зерен и зольного угля исключает возможность

подготовки шихт оптимального гранулометрического состава. Чтобы установить влияние гранулометрического состава углей Кузнецкого бассейна на качество металлургического кокса, И. М. Лазовский, А. С. Цыновников и М. П. Лацкая [54] провели следующие исследования на ползаводской установке ВУЖИН:

1) коксование углей и шихты при степени измельчения 95 и 100% класса 0—3 мм с предварительным удалением из рядового угля класса 0—3 мм и при нормальном измельчении до того же уровня;

2) коксование угольной шихты при степени измельчения 100% класса 0—3 мм с отсевом класса 0—1 мм из шихты в количестве 15, 30 и 65%;

3) коксование углей при двух ступенях измельчения с отсевом от дробленого угля класса крупнее 3 мм и удалением его или додрабливанием и возвращением в шихту.

Измельчение до 100 и 95% содержания класса 0—3 мм достигалось двумя способами: путем измельчения всей массы угля до указанного предела и путем предварительного отсева из рядовых углей класса 0—3 мм с последующим додрабливанием классов крупнее 3 мм, возвращающихся в шихту. В обоих случаях получался одинаковый уровень измельчения по классу 0—3 мм, но при различном гранулометрическом составе продукта.

Предварительный отсев класса 0—3 мм от рядового недробленого угля группы Ж₁ и добавление его к остаточной части угля после дробления приводят к снижению содержания класса 0—1 мм в смеси и понижению прочности кокса. Известно, что с увеличением степени измельчения угля группы Ж₁ прочность кокса закономерно повышается, что в значительной степени связано с повышением содержания класса 0—1 мм.

Оптимальное измельчение угля группы К, при котором получают наиболее высокие показатели барабанной пробы, соответствует 95% класса 0—3 мм. Как показали исследования, предварительный отсев класса 0—3 мм из рядового угля группы К при общем его измельчении до 99,1% класса 0—3 мм приводит к снижению содержания класса 0—1 мм. Ситовый состав такого угля приближается к ситовому составу продукта обычного измельчения угля до 95% класса 0—3 мм, поэтому прочность кокса повышается (остаток в барабане увеличивается с 266,5 до 274,7 кг).

Предварительный отсев класса 0—3 мм при последующем измельчении до 95% класса 0—3 мм также приводит к снижению содержания класса 0—1 мм. Однако в данном случае барабанная проба ухудшается (так как ситовый состав угля смещается в область более грубого помола, чем оптимальное измельчение угля группы К).

Таким образом, при более тонком додрабливании угля груп-

пы К (примерно до 100% класса 0—3 мм) предварительный отсев от рядового угля класса 0—3 мм увеличивает прочность кокса, а при более грубом помоле (около 95% класса 0—3 мм) — понижает.

Далее была испытана шихта следующего состава: Ж2—26%; КЖ—36%; К—К1—15%; К2—18%; СС—5%.

Характер изменения прочности кокса из шихты в зависимости от содержания в ней класса 0—1 мм соответствует изменению прочности кокса из угля группы К. Так, при общем измельчении шихты до 99,4% класса 0—3 мм и содержании в ней 88,1% класса 0—1 мм барабанная проба кокса составила 301 кг, а при предварительном отсеве из шихты класса 0—3 мм и том же измельчении (98,2% класса 0—3 мм), но с 72,4% класса 0—1 мм, прочность кокса повысилась до 311 кг. В то же время при общем измельчении всей шихты до 94,6%, когда в ней содержалось 74,2% класса 0—1 мм, прочность кокса составила 306 кг, а при предварительном отсеве класса 0—3 мм и содержании лишь 65,1% класса 0—1 мм барабанная проба кокса понизилась.

Таким образом, предварительный отсев класса 0—3 мм из недробленной шихты, способствующий снижению содержания в ней пыли, при тонком дроблении всей шихты (до 100% класса 0—3 мм) приводит к повышению прочности кокса, а при более грубом помоле (95% класса 0—3 мм) — к понижению.

Для выяснения влияния содержания класса 0—1 мм в измельченной шихте на качество кокса было проведено коксование шихты при нормальном ее измельчении до 100% класса 0—3 мм, а также при отсеве из нее класса 0—1 мм в количестве 15, 30, 45 и 60%. Шихта содержала 88,1% класса 0—1 мм. По мере отсева из шихты различных количеств класса 0—1 мм содержание этого класса закономерно снижалось. Соответственно повышалась средняя крупность шихты с 0,348 до 0,590 мм, а также ее насыпной вес с 0,723 до 0,776 т/м³.

Исходная шихта дала кокс с барабанной пробой 301 кг. По мере снижения в шихте содержания класса 0—1 мм прочность кокса постепенно повышалась и достигла максимальной величины (310 кг) при отсеве 30% класса 0—1 мм. Дальнейший отсев класса 0—1 мм в количестве 45 и 60% привел к снижению прочности кокса соответственно до 305 и 298 кг. Следует отметить, что при отсеве 30% класса 0—1 мм шихта по ситовому составу и средней крупности приблизилась к шихте, нормально измельченной до 95% содержания класса 0—3 мм и дающей в ползаводских условиях наиболее прочный кокс.

Затем были проведены опыты по коксованию углей с предварительным отсевом после дробления класса выше 3 мм и доизмельчением его. Содержание класса 0—1 мм в углях, измельченных до 85—95% класса 0—3 мм, при додрабливании классов

крупнее 3 мм несколько повышается, а при удалении этих классов снижается. При этом выход класса 0—1 мм значительно ниже, чем при помоле всей пробы угля до 100% класса 0—3 мм.

Насыпной вес угля изменяется соответственно содержанию класса 0—1 мм; при додрабливании класса + 3 мм он повышается, а при удалении этого класса незначительно снижается.

Прочность кокса из угля группы Ж1 при степени измельчения 85% класса 0—3 мм заметно улучшается как при додрабливании класса + 3 мм, так и при отсеивании этого класса. Прочность кокса из этого же угля при степени измельчения 95% класса 0—3 мм практически не изменяется как при додрабливании класса > 3 мм, так и при отсеивании его.

В случае обогащенного карагандинского угля худшие результаты получаются при додрабливании класса > 3 мм. По-видимому, при додрабливании крупных частиц породы заметно увеличивается поверхность отощающей добавки, что снижает и без того низкую спекаемость обогащенного карагандинского угля. Кокс оптимального качества по барабанной пробе получается при удалении класса > 3 мм.

Одним из важнейших технических мероприятий по расширению угольной базы коксования на Востоке является внедрение метода избирательного дробления углей. Развитие этого метода на Востоке связано с освоением первой опытно-промышленной установки избирательного дробления на Нижне-Тагильском металлургическом комбинате. По результатам работы этой установки должны быть разработаны предложения о развитии этого метода на Востоке.

По данным ползаводских испытаний [55], избирательное дробление шихт ряда восточных заводов позволяет повысить прочность кокса по остатку в барабане на 6—11 кг при одновременном увеличении примерно на 5% содержания класса 80—60 мм в доменном коксе. Тем самым при избирательном дроблении в состав шихт могут быть введены газовые и слабоспекающиеся угли без ухудшения качества кокса.

Например, применяя избирательное дробление, в состав шихты Магнитогорского металлургического комбината можно ввести 15% газовых углей, сократив расход наиболее дефицитных жирных углей. В шихту Кузнецкого металлургического комбината можно вводить до 20% углей СС пониженной спекаемости.

Сочетание избирательного дробления с уплотнением, по-видимому, дает возможность увеличить долю участия в шихте газовых и слабоспекающихся углей до 60%. Шихта, состоящая из углей марок: ГЗ (40%), СС (20%), Ж2 (20%) и К2 (20%) при сочетании избирательного дробления и уплотнения до 900 кг/м³ дает кокс с остатком в барабане 324 кг и содержанием класса

10—0 мм в подбарабанном продукте 43 кг (против 288 и 78 кг при обычной подготовке).

При избирательном дроблении шихты, несмотря на значительное общее снижение верхнего предела крупности, содержание угля мелких классов (0,42—0 мм) увеличивается только на 4,5—6,5 %. Путем смачивания шихты микродобавками керосина (0,1 %) будут улучшены условия грохочения мелочи и обеспечен достаточно высокий насыпной вес ее.

Поскольку баланс углей для коксования на ближайшие годы складывается неблагоприятно, вопрос об их усреднении приобретает весьма важное значение.

На большинстве шахт и обогатительных фабрик Кузнецкого бассейна отсутствуют средства усреднения. Более того, на многих предприятиях не используются даже имеющиеся средства для усреднения — аккумулярующие бункера, оклады и др. [73].

В течение последних лет из-за возникающих серьезных затруднений с поставкой и обогащением углей ряд шахт и обогатительных фабрик Кузнецкого бассейна был переведен на совместную выдачу и обогащение углей нескольких марок.

Необходимо обеспечение поставки углей постоянного качества и их усреднение, достигаемое на всех этапах единого технологического комплекса (шахта — обогатительная фабрика — коксохимический завод).

Кузнецким научно-исследовательским угольным институтом разработан метод петрографического обогащения, основанный на эластичном дроблении рядового угля с одновременным отсевом мелочи. Полученный отсев подвергается глубокому обогащению по удельному весу (1,35—1,40 г/см³) с выделением концентрата, обогащенного блестящими спекающимися разновидностями угля и отходов, содержащих высокозольные матовые разновидности. Концентрат направляется для нужд коксования, а отходы используются как пылевидное топливо [45].

Учитывая резко выраженную петрографическую неоднородность углей Кузнецкого бассейна, применение метода петрографического обогащения позволит увеличить долю участия слабоспекающихся углей в шихтах для коксования.

Л. Г. Демидов и Г. В. Сперанская [35] исследовали изменение сплесаемости при центробежном обогащении в тяжелых растворах томь-усинских углей балахонской свиты. Данные исследований приводят авторов к выводу о том, что в результате четкого гравитационного обогащения из ряда углей Кузнецкого бассейна может быть получен концентрат с повышенными коксующимися свойствами в сравнении с исходным. Петрографическое обогащение на основе центробежного метода представляет реальный путь расширения сырьевой базы коксования на Востоке.

Решение этой задачи может быть осуществлено одновременно в следующих направлениях: 1) увеличение спекаемости слабоспекающихся углей; 2) выделение спекающихся фракций из углей с нулевым пластическим слоем; 3) использование отсевов энергетических углей путем извлечения из них спекающихся фракций.

Весьма перспективным для Востока является развитие метода предварительной сушки углей перед загрузкой их в камеры коксования. Необходимо ускорить строительство и освоение опытных установок по этому методу для обеспечения широкого его промышленного внедрения.

Другими мероприятиями, которые позволят существенно увеличить долю слабоспекающихся и газовых углей в угольных шихтах для коксования являются раздельное дробление, коксование уплотненной угольной шихты и др.

Радикальным мероприятием, которое позволит полностью решить вопрос обеспечения черной металлургии коксующимися углями на Востоке, является разработка и внедрение непрерывного процесса коксования с получением формованного кокса. Перспективы развития этого процесса связаны с решением задачи освоения опытно-промышленной установки на Харьковском коксохимическом заводе и разработкой на основании результатов ее работы проектов крупных промышленных установок на Востоке.

Существенное расширение сырьевой угольной базы коксования на Востоке может быть достигнуто путем изменения установленного сегодня теплового режима коксовых печей. В настоящее время на восточных коксохимических заводах процесс коксования ведется форсированно (период коксования 14—15 час.). При этом в обогревательных каналах поддерживаются очень высокие температуры, достигающие 1390—1410°.

Шихты с большим содержанием дефицитных углей марок Ж и К при этом режиме коксования дают крупный и прочный кокс. Однако шихты с повышенным участием газовых углей и большим выходом летучих веществ при таких высоких температурах коксования дают кокс мелкий, непрочный с повышенной трещиноватостью. При этом резко ухудшается ситовый состав кокса, увеличивается содержание в коксе фракции 25—40 мм, уменьшается выход крупных классов (свыше 60 мм).

В. Д. Фришберг и С. И. Сухенко [116] провели на Кузнецком металлургическом комбинате опытные промышленные коксования двух вариантов угольной шихты с участием 10 и 15% газового угля шахты Пионерка, относящегося к технологической группе ГК при продолжительности коксования 15 час., 15 час. 40 мин. и 17 час.

Исследование показало, что период коксования оказывает

значительное влияние на качество кокса, получаемого из шихт с участием газового кузнечного угля. Увеличение периода коксования с 15 до 17 час. повысило показатель остатка в барабане на 9—10 кг и снизило содержание класса 10—0 в подбарабанном продукте на 4—6 кг. Отсюда авторы делают вывод, что дальнейшее увеличение участия в шихтах газовых углей ведет к необходимости удлинения периода коксования на восточных заводах в печах с шириной камеры 407 мм как минимум до 16—16,5 час.

Н. С. Грязнов и Т. П. Варшавский [282] приводят данные о результатах испытаний качества кокса, полученного при различных периодах коксования. Опыты эти были проведены на Магнитогорском и Нижне-Тагильском металлургических комбинатах, а также на Челябинском металлургическом и Кемеровском коксохимическом заводах.

По результатам проведенных опытов можно сделать выводы о том, что для восточных коксохимических предприятий удлинение периода коксования от 14—14,5 час. до 15—16 час. увеличивает крупность металлургического и скипового кокса по выходу классов + 80 и 80—60 мм приблизительно на 6% и в большинстве случаев способствует увеличению прочности кокса по остатку в барабане в среднем на 6 кг. При этом повышается также горючесть и реакционная способность кокса. Этот результат достигается при снижении температуры в обогревательных простенках до уровня, обеспечивающего конечную температуру в осевой плоскости коксового пирога 1020—1050°. Наиболее значительное улучшение физико-механических свойств кокса достигается при удлинении периода коксования шихт с большим участием газовых углей.

Предварительные данные также показывают, что кокс, полученный при удлинении периода коксования, обеспечивает возможность интенсификации работы доменных печей в большей мере, чем кокс, получаемый при сокращенном периоде коксования.

Таким образом, снижение температуры и удлинение продолжительности коксования для шихт восточных коксохимических предприятий является значительным резервом расширения угольной сырьевой базы коксования на Востоке.

Реализация этого мероприятия находится в зависимости от резерва мощности коксовых батарей и должна учитываться при определении перспектив развития коксохимической промышленности на Востоке.

Весьма существенным фактором в решении задачи расширения сырьевой угольной базы на Востоке СССР является также выбор оптимальной для шихт восточных коксохимических предприятий ширины камер коксовых печей. Ширина камер коксовых

печей оказывает весьма большое влияние на качество кокса.

В СССР до последних лет принималась для Юга и Востока стандартная ширина камеры — 407 мм. Однако проведенные исследования в направлении выбора оптимальной ширины камеры и обширный материал по практике зарубежных коксохимических предприятий убедительно доказали, что для разных составов угольных шихт должны применяться разные размеры ширины камеры коксования.

Во Франции для коксования шихт с пониженной спекаемостью дало благоприятные результаты применение камеры с шириной менее 400 мм (380 мм и 350 мм). Ширина камеры 450 мм может быть рекомендована для шихт с хорошей спекаемостью.

Всесоюзное совещание коксовиков, состоявшееся в г. Донецке в 1960 г., приняло решение о необходимости постройки на Харьковском коксохимическом заводе одной опытной батареи из пяти печей с камерами шириной 350 мм для изучения технологии производства кокса из газовых углей и шихт с преобладающим участием этих углей. Совещание рекомендовало ширину камеры коксовых печей (450 или 410 мм) выбирать в зависимости от свойств коксуемой шихты и показателей качества кокса.

На совещании также было отмечено, что УХИНу и ВУХИНу необходимо изучать вопрос о выборе оптимальной ширины камер печей для получения металлургического кокса с учетом применения перспективных шихт.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведенные классификация, описание и анализ различных методов расширения угольной базы коксования позволяют сделать ряд выводов о дальнейшем развитии работ в этой области.

Повышение скорости коксования, особенно в допластическом интервале температур, позволяет существенно увеличить спекаемость углей. Среди возможных аппаратурных вариантов процесса заслуживает особого внимания быстрый предварительный подогрев шихты и подача ее в коксовые печи обычного типа.

Проведение коксования под давлением также значительно повышает спекаемость углей, однако до своего опробования в заводских условиях требует большого количества химико-технологических и конструкторских исследований.

Опытные коксования, проведенные в Советском Союзе, показали практическую возможность введения в шихты до 30% бурых углей. В Югославии и Чехословакии доменные печи уже ряд лет работают на коксе, полученном из шихт с добавкой бурых углей. Использование бурых углей в шихтах для коксования заслуживает безусловного внимания, в особенности на Украине, обладающей громадными запасами бурых углей.

Полукокк является хорошей отощающей добавкой в угольных шихтах. Для применения полукокса в качестве компонента коксовой шихты в ряде случаев имеются достаточно веские экономические предпосылки.

Стоимость строительства полукоксовых установок в условиях южных районов СССР может быть в значительной степени компенсирована экономией путем закладки менее глубоких шахт на длиннопламенных углях. Желательно широко развернуть научно-исследовательские работы по использованию буроугольного и каменноугольного полукокса как сырья для коксования.

Отощение угольных шихт коксовой мелочью применяют на ряде коксохимических заводов США и Англии. Перспективы использования добавок коксовой мелочи более ограничены, чем использование добавок полукокса, поскольку степень «отощенности» полукокса может быть задана наперед.

Использование коксовой мелочи в шихте для коксования не имеет широкой перспективы развития в ближайшие годы в Со-

ветском Союзе вследствие огромного роста агломерирования руд с применением коксовой мелочи.

В ряде случаев тонкоизмельченная железная руда является хорошей отошающей добавкой к шихтам, содержащим малометаморфизованные угли. Производство железококса из хорошо спекающихся, чистых по сере газовых углей открывает путь значительного расширения ресурсов углей для коксования.

В ближайшем будущем наша черная металлургия станет перед задачей обогащения почти всей железной руды. Обогащение магнитных железняков потребует очень тонкого их измельчения. Рациональным способом окускования концентратов может явиться получение из них железококса.

При производстве брикетного железококса благодаря применению давления имеется возможность повысить величину присадки руды и использовать угли с пониженной спекаемостью [291, 294]. Производство топливно-плавильных материалов и, в частности железококса, позволит вынести часть работы по восстановлению руды из доменной печи в коксовые печи и тем самым сократит расход горючего и время пребывания шихты.

Следует поставить исследования по окусковыванию и восстановлению путем присадки в шихту коксовых печей не только железных, но также марганцовистых и хромистых руд.

Тщательное усреднение углей для коксования открывает существенные возможности улучшения качества кокса, а следовательно, расширения сырьевой базы коксохимии. Рекомендуются усреднение в штабелях, применение усреднительных бункеров, устранение сегрегации компонентов в угольной башне и загрузочном вагоне.

Флотационный метод обогащения должен рассматриваться как метод, при котором происходит не только обеззоливание и частичное обессеривание, но и как процесс, при котором можно получить продукты, представленные различными петрографическими компонентами.

Увеличение насыпного веса шихты является высокоэффективным и простым методом расширения сырьевой базы коксования, особенно из-за применения малометаморфизованных углей. Увеличение насыпного веса предоставляет также значительные дополнительные возможности использования плохо спекающихся углей путем поддержания насыпного веса шихт на постоянном уровне, а также путем перехода к шихтам более тонкого помола.

Наиболее простым и апробированным практикой методом повышения насыпного веса угольной шихты является смачивание ее микродобавками углеводородных жидкостей. При смачивании керсином расход его составляет около 0,1% от веса угля. Метод этот должен получить более широкое внедрение на наших коксохимических заводах, в первую очередь на заводах,

перерабатывающих усадочные шихты, увеличивая при этом содержание в шихтах газовых и длиннопламенных углей.

Следует развивать научно-исследовательские работы в направлении повышения насыпного веса шихты путем добавок извести. Известь, повышая насыпной вес шихты, одновременно может явиться хорошей отошающей добавкой. Можно предполагать, что тонкодиспергированная в коксе окись кальция улучшит условия обессеривания в процессе доменной плавки.

Метод петрографического разделения коксующихся углей с применением избирательного дробления представляет большой интерес для советской коксохимической промышленности в связи с очень большой его эффективностью, выражающейся в возможности резко увеличить содержания недефицитных углей в шихте. Неотложной задачей является строительство двух-трех установок для кузнецких, донецких и карагандинских углей и заводская проверка этого метода для углей бассейнов СССР.

Весьма важной является работа установки по избирательному дроблению углей на Нижне-Тагильском металлургическом комбинате, испытание которой позволит получить необходимые данные для проектирования и строительства таких установок на других заводах Востока.

Освоение метода избирательного дробления позволит увеличить участие углей марок СС и Г в шихтах восточных заводов примерно в 2—3 раза при одновременном улучшении качества кокса.

Одновременно с этим следует исследовать петрографический состав слабоспекающихся углей Кузнецкого, Карагандинского и других бассейнов с целью разработки рациональных схем дробления при вводе этих углей в шихты для коксования.

Для рационального использования метода избирательного дробления углей необходима разработка физико-химических и физико-механических основ его и, в частности, определение путей повышения эффективности грохочения угольной мелочи, исследование процессов прогрессирующего дробления углей и т. д.

Существенно важна эффективная сортировка и предварительная механическая обработка кокса, позволяющие при коксовании шихт с несколько пониженной коксуемостью получать фракции крупного, прочного и равномерного по кусковатости кокса с одновременным получением хорошего агломерационного, коммунального и других типов мелкого кокса.

Предварительное брикетирование перед коксованием получило успешное развитие в работах Раммлера с сотрудниками (Германская Демократическая Республика).

Необходимо провести исследования в направлении улучшения механических и особенно термомеханических свойств кокса,

полученного по этому методу, с тем чтобы он мог быть использован в современных доменных печах большой производительности.

Целесообразно сооружение опытной полузаводской установки для получения коксобрикетов из каменных и бурых углей СССР.

Следует также провести ряд технико-экономических подсчетов эффективности реализации метода предварительного брикетирования бурых углей и получения из них коксобрикета для конкретных условий отдельных районов СССР.

Производство буроугольного коксобрикета может оказаться рентабельным, например, в Кустанайской области. Здесь месторождения железных руд находятся в непосредственной близости от мощных, неглубоко залегающих месторождений бурого угля с малым содержанием золы.

Путем предварительного брикетирования может быть получен прочный кокс из газовых углей и смесей их с длиннопламенными, а также из смесей газовых углей со слабоспекающимися.

Использование тяжелых нефтяных остатков в качестве связующего в производстве брикетов позволяет увеличить выход сырого бензола при коксовании. При введении в шихту 2,5—3,0% тяжелых нефтяных остатков выход сырого бензола увеличится на 20% и более по сравнению с существующим.

Интерес представляет разработанный Национальной топливной корпорацией (NFC) США метод брикетирования угля перед коксованием, предусматривающий возможность предварительного частичного окисления угля до заданной величины. Коксование брикетов производится в вертикальной реторте непрерывного действия с внутренним обогревом.

Заслуживает внимания процесс некоторого предварительного окисления углей с целью получения сырья для коксования со строго заданной и постоянной спекаемостью, а также возможность коксования брикетов в печах с твердым теплоносителем.

Окисление, брикетирование и коксование по методу NFC являются относительно сложными и дорогостоящими операциями, однако процесс может быть экономически оправдан низкими капиталовложениями по установке в целом. По литературным данным, капиталовложения в промышленную установку для предварительного брикетирования на 30—40% ниже, чем в обычную коксовую установку равной производительности.

Целесообразно провести испытание отдельных технологических узлов процесса, заключающегося в смешении плохококсующихся углей с железной рудой и связующим, в брикетировании и дальнейшем полукоксовании полученных брикетов. По-видимому, таким путем благодаря подбору соответствующих связующих и режиму брикетирования может быть получено удовлетворительное металлургическое топливо.

Работы по химико-кагальитическому гранулированию (Институт горючих ископаемых и Институт металлургии Академии наук СССР) дошли до стадии, позволяющей начать их промышленное внедрение.

Для получения кокса из слабоспекающихся углей в СССР (работы Л. М. Сапожникова) и США разрабатывается процесс, основанный на быстром нагреве угля до пластического состояния, формовании в стадии пластичности и медленном перегреве формованных изделий во избежание образования трещин.

На Харьковском коксогазовом заводе этот процесс был изучен на полузаводской установке производительностью 200 кг/час.

Из газовых углей (Ново-Гродовка) без примеси углей других марок получено около 40 т формованного металлургического кокса высокой прочности (барабанная проба 347 кг). Каменноугольная смола, сырой бензол и газ соответствуют обычным продуктам коксохимического производства. Одновременно испытана основная аппаратура этого процесса. На базе проведенных исследований закончено строительство и начата эксплуатация опытно-промышленной установки производительностью до 10 т/час. Весьма важно добиться высокой скорости предварительного подогрева угля при большой производительности, а также интенсифицировать процесс прокалики формованных изделий.

Описанный метод представляет большой интерес, открывая возможность получения металлургического кокса, в частности из слабоспекающихся длиннопламенных углей Черемховского месторождения, что в сочетании с крупными запасами железной руды дает необходимые предпосылки для развития черной металлургии в Иркутской области.

Осуществление процесса термобрикетиrowания с заданным температурным режимом (работы Б. М. Злобинского в Московском институте стали) позволяет значительно повысить механическую прочность кокса, получаемого из этих брикетов. Эти исследования целесообразно продолжить в полузаводском масштабе для уточнения параметров процесса термобрикетиrowания.

Прочность коксобрикетов, полученных из бурых углей, может быть существенно повышена путем предварительной обработки углей различными углеводородными жидкостями. Механизм процесса заслуживает специального изучения, однако, учитывая масштабы металлургического коксования, метод этот, по-видимому, пока практически мало перспективен.

В прехступенчатом процессе качество получаемого продукта не зависит от физических свойств и коксуемости исходных углей. Измельченный уголь подвергается полукоксованию в печах с внешним обогревом, полученный полукокк смешивается с пеком низкотемпературной или высокотемпературной смолы, брикетуется в вальцовых прессах и коксуется в камерных печах.

Суммарный расход тепла на процесс Дидье составляет 600—650 ккал/кг. По-видимому, при промышленном внедрении этого метода стоимость получаемого кокса будет значительно выше, чем при ведении процесса в обычных коксовых печах, однако данный метод предоставляет широкие возможности расширения ассортимента углей, используемых для коксования.

В процессе Баумко уголь предварительно нагревается до 800°, после чего полностью теряет спекаемость и далее служит инертной основой для производства брикетов с использованием в качестве связующего пека и коксующегося угля. Полученные брикеты в вертикальных печах подвергаются быстрому нагреву газовым теплоносителем.

Общая оценка процесса Баумко пока затруднена, поскольку еще нет данных о результатах эксплуатации первой промышленной установки. Трехстадийный синхронизированный процесс представляется достаточно усложненным по сравнению с обычным коксованием. Время пребывания угля и брикетов соответственно в печах первой и третьей стадий процесса составляет только по одному часу.

В Венгерской Народной Республике разработан аналогичный метод производства коксованных брикетов из порошка бурого угольного кокса. В качестве связующего используется смола (8—9%) и гудрон (0,5—0,6%). Этот метод в настоящее время находится в стадии промышленного внедрения. Примерно аналогичный метод исследуется в Румынской Народной Республике.

Экономичность коксования с предварительной термообработкой и брикетированием вследствие отсутствия экономических показателей еще не установлена. Однако можно полагать, что экономическое проведение этого процесса затрудняется большим количеством технологических операций, а также значительными потерями теплосодержания кокса после первой и второй ступеней термической переработки.

Расширение сырьевой базы коксования на Юге должно проходить в направлении увеличения содержания в шихтах, главным образом газовых, а также в некоторых случаях тощих или длиннопламенных углей.

Весьма важно развитие обогащения коксующихся углей путем усовершенствования существующих и строительства новых углеобогатительных фабрик с применением новых эффективных методов обогащения (методы тяжелых суспензий, центробежной сепарации и т. п.).

Необходимо снижение влажности шихты для коксования до требуемых кондиций путем внедрения высокопроизводительных центрифуг и сооружения термосушильных отделений для сушки концентратов.

Для коксохимических заводов Юга необходимо проведение

мероприятий по усреднению качества углей и шихты с целью получения кокса постоянного качества по механическим свойствам и химическому анализу.

Сырьевая база коксования на Юге может быть существенно расширена путем внедрения дифференцированного измельчения компонентов шихты.

Основной предпосылкой значительного расширения угольной базы коксования в Кузнецком и Карагандинском бассейнах является развитие обогащения углей.

Учитывая резко выраженную петрографическую неоднородность углей Кузнецкого бассейна, применение метода петрографического обогащения позволит увеличить долю участия слабо-спекающихся углей в шихтах для коксования.

Сочетание избирательного дробления шихты с ее уплотнением на коксохимических заводах Востока, по-видимому, даст возможность увеличить долю участия в шихте газовых и слабо-спекающихся углей до 60%. Путем смачивания шихты микродобавками керосина (0,1%) будут улучшены условия грохочения мелочи и обеспечен высокий насыпной вес ее.

Применение воздушной сепарации углей с додрабливанием крупных классов, а также пневмомеханической сепарации, по-видимому, даст возможность не производить предварительного выделения мелких классов угля.

Весьма перспективным для Востока является развитие метода предварительной сушки углей перед загрузкой их в камеры. Необходимо ускорить строительство и освоение опытных установок по этому методу.

Ширина камер коксовых печей оказывает весьма большое влияние на качество кокса. Весьма важно выбрать ширину камер коксовых печей, оптимальную для шихт восточных коксохимических заводов.

Значительным резервом расширения угольной сырьевой базы коксования является снижение температуры и удлинение продолжительности коксования для шихт коксохимических заводов Востока.

Разработка и внедрение непрерывного процесса коксования с получением формованного кокса по методу ИГИ позволит радикально решить вопрос расширения угольной базы коксования на Востоке.

Внедрением этого метода в Кузнецком бассейне может быть решена задача использования для нужд металлургии значительных ресурсов газовых углей пониженной спекаемости (толщина пластического слоя 10—11 мм).

ЛИТЕРАТУРА

1. Аронов С. Г. Использование донецких газовых и длиннопламенных углей для коксования. Металлургиздат, 1949.
 2. Аронов С. Г., Кулясов В. А. О дроблении и измельчении углей. Кокс и химия, 1955, № 2, стр. 5—9.
 3. Аронов С. Г., Моисеева Х. М. Петрографическая сепарация и раздельное дробление донецких углей и шихт. Кокс и химия, 1957, № 8, стр. 3—10.
 4. Аронов С. Г., Светлоусова Л. П. Влияние степени измельчения углей и шихты при коксовании. Кокс и химия, 1958, № 1, стр. 5—11.
 5. Аронов С. Г. и др. Сырьевая база и технология коксования донецких газовых углей на коксохимических заводах. Кокс и химия, 1959, № 10, стр. 3.
 6. Агроскин А. А. Пути расширения угольной базы коксования. Металлургиздат, 1959.
 7. Агроскин А. А., Григорьев С. М., Загребельная В. С., Лоскутова Е. Н., Петренко И. Г., Питин Р. Н. Сб. «Увеличение насыпного веса угля микродобавками углеводородных жидкостей». Изд-во АН СССР, 1947.
 8. Агроскин А. А., Загребельная В. С., Питин Р. Н. Влияние гранулоостава угольной шихты на ее насыпной вес и эффективность смачивания углеводородными жидкостями. Изв. АН СССР, ОТН, 1946, № 6, стр. 849—62.
 9. Агроскин А. А. Увеличение насыпного веса угля микродобавками углеводородных жидкостей. Докл. АН СССР, 1945, т. 49, № 4, стр. 281—84.
 10. Агроскин А. А., Григорьев С. М., Петренко И. Г., Питин Р. Н. Насыпной вес углей для коксования. Изд-во АН СССР, 1956.
 11. Арутюнов Б. Н. Производство и использование железокоса на зарубежных металлургических заводах. Сталь, 1956, № 3, стр. 278—284.
 12. Байдалинов П. А. Усреднение углей и выбор типа склада для коксохимических заводов. Кокс и химия, 1957, № 2.
 13. Бардин И. П., Канавец П. И. и др. Химико-каталитический метод изготовления рудно-топливных офлюсованных гранул для черной металлургии. Изд-во АН СССР, 1959.
 14. Бардин И. П., Канавец П. И. и др. Получение кокса из слабо-спекающихся углей недефицитных марок и интенсификация действующих коксовых цехов путем предварительной грануляции углей и угольных шихт. Изд-во АН СССР, 1959.
 15. Бардин И. П., Вавилов Н. С., Гесс-де-Кальве Б. А. и др. Восстановление железа из рудно-топливных гранул во взвешенно-фонтанирующем слое. Изв. АН СССР, ОТН, Металлургия и топливо, 1960, № 5, стр. 13—18.
 16. Брук А. С., Обуховский Я. М. и др. Влияние насыпного веса шихты на механические свойства кокса. Кокс и химия, 1960, № 11, стр. 20—25.
 - 16а. Брук А. С. К вопросу о добавке колошниковой пыли в шихту коксовых печей. Кокс и химия, 1933, № 7.
- 19 А. А. Агроскин, А. К. Шелков

166. Брук А. С., Истомина К. Е. Восстановимость окислов железа в процессе получения железокоска. Кокс и химия, 1934, № 11.
167. Брук А. С., Волкова З. А., Обуховский Я. М., Лейтес В. А., Лейбович Р. Е. Физико-механические и физико-химические свойства узких классов доменного кокса. Кокс и химия, 1959, № 1, стр. 21—24.
17. Вайсберг О. П. Вопросы замены коксующихся углей полукоксом. Уголь, 1956, № 4, стр. 30—33.
18. Вербицкая О. В., Сысков К. И. Исследование термической устойчивости некоторых видов кокса. Изв. АН СССР, ОТН, 1959, № 6, стр. 172—174.
19. Вессельман С. Г. Применение полукокса бурых углей в качестве отошающей присадки к коксовой шихте для частичной замены углей марки ПС. Труды Харьковского горного ин-та, 1956, т. 3, стр. 35—55.
20. Вехов В. А. Металлургический кокс из газовых углей Кузбасса. Автореферат диссертации, Москва, 1954.
21. Гвоздев В. Д., Фиванцев И. И. Экономическая эффективность применения механического уплотнения шихты на современных коксохимических заводах. Труды Новочеркасского политехнического ин-та, 1959, 97, стр. 233—245.
22. Гесс-де-Кальве Б. А., Канавец П. И. Химико-каталитический метод окислов тонкоизмельченных шихтовых материалов. Бюллетень технико-экономической информации ВИНТИ, 1957, № 2.
23. Григорьев М. Ю. Петрографическое обогащение углей Кузнецкого бассейна. Кузн. научно-исслед. угольн. институт, сб. 2.
24. Григорьев М. Ю., Подбельская Е. Ф. Повышение спекаемости при флотации петрографически неоднородных кузнецких и карагандинских каменных углей. Научные труды по вопросу переработки и качества углей. Кузнецкий н.-и. угольн. ин-т, 1957, сб. 4, стр. 75—85.
25. Грязнов Н. С., Лазовский И. М., Фельдбрин М. Г. Основной принцип подготовки углей дроблением для коксования. Кокс и химия, 1956, № 8, стр. 3—10.
26. Грязнов Н. С., Лазовский И. М., Фельдбрин М. Г. К теории формирования кокса в связи с избирательным измельчением углей. Изв. АН СССР, ОТН, 1958, № 6, стр. 144.
27. Грязнов Н. С., Петров В. К. Коксование углей под газовым давлением. Кокс и химия, 1960, № 1, стр. 30—35.
28. Грязнов Н. С., Фельдбрин М. Г., Кузовков С. С. Коксование предварительно нагретой угольной шихты. Кокс и химия, 1959, № 2, стр. 17—20.
29. Губин Г. В. Metallургические свойства рудно-угольных окатышей. Изв. АН СССР, ОТН, 1957, № 6, стр. 32—36.
30. Дворин С. С. Всесоюзное совещание по проблемам топливной базы черной металлургии. Кокс и химия, 1959, № 12, стр. 51—54.
31. Дешалит Г. И. Из опыта зарубежной техники коксования. Кокс и химия, 1956, № 2, стр. 24—25.
32. Дешалит Г. И. О возможности получения кокса из кизеловских углей без участия кузнецких. За экономию топлива, 1952, № 5.
33. Джапаридзе П. Н., Дракин Л. А. Изучение коксемости грузинских углей с полукоксом. Труды Института металла и горного дела АН Грузинской ССР, 1949.
34. Добровольский М. Материалы по Международной конференции коксохимиков. Катовицы, октябрь 1956.
35. Демидов Л. Г., Сперанская Г. В. Расширение ресурсов углей для коксования в Кузнецком бассейне. Кокс и химия, 1961, № 4, стр. 3—5.
36. Дорофеев Д. С. О производстве кокса заданных качеств. Кокс и химия, 1940, № 6, стр. 26.

37. Ельяшевич М. Г. Значение флотации для расширения сырьевой базы коксохимической промышленности. Сб. «Флотация углей», Углетехиздат, 1954, стр. 47—56.
38. Еркин Л. И., Лобанова Л. И., Бернацкая М. А. Коксование восточных углей с применением трамбования. Кокс и химия, 1958, № 2, стр. 23—30.
39. Еркин Л. И., Петров В. К., Бернацкая М. А. Термическая подготовка углей для коксования. Кокс и химия, 1959, № 2, стр. 13—16.
40. Еркин Л. И., Петров В. К. Коксование шихты из кузнецких углей с применением трамбования. Кокс и химия, 1959, № 11, стр. 23.
41. Зашквара В. Г. К вопросу о дроблении и измелении углей. Кокс и химия, 1956, № 7, стр. 7—10.
42. Зашквара В. Г. и др. Влияние тонкости помола шихты на качество донецкого кокса. Сталь, 1954, № 6, стр. 495.
43. Зашквара В. Г., Сениченко С. Е. Рациональные схемы дробления обогащенных донецких углей. Кокс и химия, 1960, № 11, стр. 15—20.
44. Злобинский Б. М. Бурый уголь как металлургическое топливо. Углетехиздат, 1956.
45. Ивлев Г. Ф. Расширение гаммы углей для коксования в Кузнецком бассейне. Изв. высших учебных заведений. Черная металлургия, 1958, № 8, стр. 167—169.
46. Крым В. С., Елович С. Ю. К вопросу об использовании коксовой мелочи. Кокс и химия, 1932, № 5, стр. 6.
47. Калиновский Б., Шпилевич А. Материалы по Международной конференции коксохимиков. Катовицы, октябрь, 1956.
48. Кащенко Д. С., Сазонов С. А. Железококк и его использование в доменной печи. Кокс и химия, 1956, № 6, стр. 21—26.
49. Коробчанский И. Е. и др. Исследование процесса избирательного дробления некоторых углей Донецкого бассейна. Кокс и химия, 1956, № 6, стр. 8—13.
50. Кроль В. Л. Усреднение углей для коксования. Кокс и химия, 1957, № 9, стр. 18—22.
51. Кузнецов М. И. К вопросу коксуемости бурых углей. Укр. химич. журнал, 1935, 10, стр. 84—87.
52. Курчатова М. С. Железококк и рудоугольные брикеты. Сталь, 1957, № 2, стр. 103—105.
53. Кулешов П. Я., Еленский Ф. З., Ситало М. В. Кокс из донецких газовых углей. Кокс и химия, 1960, № 12, стр. 20—22.
54. Лазовский И. М., Цыновников А. С., Лацкая М. П. Влияние ситового состава угольной шихты на качество кокса. Сталь, 1955, № 3, стр. 199—204.
55. Лазовский И. М., Грязнов Н. С., Фельдбрин М. Г. Избирательное дробление углей для коксования. Металлургиздат, 1958.
56. Лазовский И. М., Грязнов Н. С., Попутников Ф. А. и др. Подготовка угольных шихт воздушной сепарацией с дроблением крупных и тяжелых частиц. Кокс и химия, 1959, № 6, стр. 5—8.
57. Левин Е. Б. Производство доменного кокса из углей с высоким содержанием летучих. Бюллетень ЦИИИ МЧМ, 1947, № 20.
58. Левин Е. Б. Производство и применение буроугольного кокса. Бюллетень ЦИИИ ЧМ, 1954, № 19.
59. Левин Е. Б. Черная металлургия капиталистических стран, т. VI, Коксохимическое производство. Metallurgizdat, 1956, стр. 351.
60. Литвиненко М. С., Тесленко Ф. Ф., Вайсберг О. П. Расширение ассортимента донецких углей для коксования. Труды Харьковского инж.-экон. ин-та, 1955, № 6, стр. 37—51.
61. Лурье Л. А., Равич Б. М. Получение металлургического кокса из бурых углей Северного Казахстана. Кокс и химия, 1956, № 8, стр. 13—15.

62. Лысенко П. Д., Петренко В. М., Исаров Г. М., Брагинский Н. И. Получение металлургического кокса и высоких выходов химических продуктов из шихты с бурым углем. Кокс и химия, 1940, № 7, стр. 11—14 и № 11—12, стр. 8—11.
63. Мартынов В. В. Развитие сырьевой базы коксования в Корейской Народно-Демократической Республике. Кокс и химия, 1960, № 3, стр. 57—58.
64. Майер Л. М., Цукерман А. Е. Влияние фюзена на спекающую способность углей. Кокс и химия, 1933, № 4.
65. Майер Л. М. Петрография каменных углей в применении к практическим вопросам их переработки. Диссертация, 1938.
66. Майер Л. М. Петрографические составные части каменных углей и их значение для технологической переработки. Труды первого всесоюзного совещания по химии и генезису твердых горючих ископаемых, Изд-во АН СССР, 1953, стр. 224—228.
67. Макаров Г. Н. и др. Предварительная термическая подготовка углей для коксования. Кокс и химия, 1957, № 4, стр. 12—17.
68. Макаров Г. Н., Королев Ю. Г. Коксование свободно лежащего тонкого слоя угольной загрузки. Кокс и химия, 1958, № 4, стр. 16—23.
69. Макаров Г. Н., Ван Чжан-сюн. Коксование газовых и длиннопламенных углей. Кокс и химия, 1960, № 6, стр. 3—6.
70. Марченко Г. М., Митрофанов М. В., Филиппов Б. С. Способ подготовки шихты перед коксованием. Бюллетень изобретений, 1958, № 7, стр. 5.
71. Мирошниченко А. М. Труды научно-технической конференции по расширению ресурсов коксующихся углей. Металлургиздат, 1951.
72. Мирошниченко А. М., Штромберг Б. И. Перспективы развития сырьевой угольной базы коксования на Юге СССР. Кокс и химия, 1959, № 12, стр. 3—6.
73. Мюллер И. П., Фришберг В. Д. Усреднение углей на шахтах и обогатительных фабриках Кузнецкого бассейна, Кокс и химия, 1960, № 1, стр. 6—10.
74. Непрерывное коксование углей. Труды Института горючих ископаемых АН СССР, т. 10, Изд-во АН СССР, 1959.
75. Нестеренко Л. Л., Лозовский И. М. Влияние легкого гидрирования на коксуюмость углей Подмосковного бассейна. Укр. химич. журнал, 1935, № 10, стр. 88—92.
76. Никитин А. И., Арбузов В. А. Агломерация железных руд. Металлургиздат, 1937.
77. Обуховский Я. М. Пути расширения гаммы углей для коксования. Уголь, 1950, № 4, стр. 19.
78. Обуховский Я. М. О расширении ресурсов коксующихся углей в Донбассе. Плановое хозяйство, 1952, № 1, стр. 54—60.
79. Обуховский Я. М. Усреднение углей для коксования. Кокс и химия, 1957, № 6, стр. 13—15.
80. Обуховский Я. М. Об обогащении углей как факторе, способствующем расширению сырьевой базы коксования. Уголь, 1952, № 6, стр. 31—32.
- 80а. Обуховский Я. М. Рациональное использование коксующихся углей с целью внедрения для коксования тощих и длиннопламенных углей. Труды научно-технической конференции по расширению ресурсов коксующихся углей. Донецк, 1951, стр. 74—93.
- 80б. Обуховский Я. М. Получение доменного кокса без углей марки ПС. Уголь, 1950, № 12.
81. Огнев Р. К., Клопотов И. К. Иркутский бассейн как сырьевая угольная база металлургической промышленности Восточной Сибири. Кокс и химия, 1958, № 2, стр. 5—10.

82. Панченко С. И. Применение челябинского полукокса в коксовых шихтах завода УКК. Кокс и химия, 1933, № 11.
83. Пахолок И. Ф., Познанская В. С. Бурые угли как сырье для коксования. Уголь, 1955, № 3, стр. 32—35.
- 83а. Пахолок И. Ф. Об улучшении качества кокса и использовании в шихтах слабоспекающихся углей. Уголь, 1956, № 5, стр. 26—28.
84. Пашкевич А. З., Белецкая А. Ф., Шпитальник С. Н. Производственные опыты улучшения качества кокса установлением переменной температуры вертикалов. Кокс и химия, 1937, № 3, стр. 20.
85. Пильский И. Я. Новый метод уплотнения угольной загрузки в камерах коксовых печей. Кокс и химия, 1960, № 7.
86. Похвиснев А. Н., Злобинский Б. М. Кокс из бурых углей Восточной Сибири. Сб. «Развитие производительных сил Восточной Сибири», Черная металлургия. Изд-во АН СССР, 1960, стр. 114—120.
87. Поташникова М. М. Исследование продуктов петрографического обогащения некоторых углей Донбасса с целью их более рационального технологического использования. Диссертация, Донецк, 1955.
88. Равич Б. М. Брикетирование железных руд. Металлург, 1960, № 6, стр. 9—11.
89. Ровенский И. И. Обжиг окатышей на колосниковой решетке. Сталь, 1959, № 5, стр. 389—393.
90. Рябухо В. М. К характеристике полукокса как присадки в шихту для коксования. Кокс и химия, 1936, № 10.
91. Сапожников Л. М. Каменные угли и металлургический кокс. Изд-во АН СССР, 1941.
92. Сапожников Л. М. Новые принципы коксования углей. Изд-во АН СССР, 1955.
93. Сапожников Л. М., Юровский А. З. Новая техника коксования и обогащения углей. Изд-во АН СССР, 1956.
94. Сапожников Л. М. Формованное доменное топливо из некоксуемых углей. Кокс и химия, 1959, № 3, стр. 22—27.
95. Сапожников Л. М., Николаев И. Н. О влиянии минеральных добавок на процесс коксования углей. Труды ИГИ АН СССР, 1954.
96. Семенов Л. М., Шахова О. В. Кокс из бурых углей. Кокс и химия, 1957, № 5, стр. 62—65.
97. Сухенко С. И., Кузнецова А. И. Подготовка шихты из кузнечных углей методом избирательного дробления. Кокс и химия, 1957, № 9, стр. 3—7.
98. Сперанская Г. В., Скворцов Ю. М. Применение нового метода коксования для получения металлургического топлива из слабоспекающихся углей Черемховского месторождения. Кокс и химия, 1956, № 7, стр. 3—10.
99. Сперанская Г. В. Основные этапы разработки процесса непрерывного коксования углей. Труды ИГИ АН СССР, т. 10, 1959.
100. Судья Т. А. Увеличение загрузки коксовых печей. Металлургия, 1948.
101. Сысков К. И., Цзи-Лян. Исследование процесса сегрегации рудоугольных смесей. Кокс и химия, 1960, № 2, стр. 5—9.
102. Тайц Е. М. О вязкости углей в пластическом состоянии. Труды ИГИ АН СССР, 1950, вып. 2, стр. 32.
103. Тайц Е. М., Андреева И. А. Научные доклады высшей школы, 1959, № 1, стр. 169.
104. Тайц Е. М., Анненкова В. З. Получение кокса из слабоспекающихся углей Иркутского бассейна. Сб. «Новые принципы коксования углей», изд-во АН СССР, 1955.
105. Тайц Е. М., Кофман Б. Е., Тябина З. С. Исследование меха-

нической стойкости каменных углей Кузнецкого бассейна. Труды геолого-исслед. бюро ГГРУ, 1948, вып. 4, стр. 58—63.

106. Тайц Е. М., Фридман Г. Е. Использование торфяного полукокса в качестве компонента коксовой шихты. Изв. АН СССР, ОТН, 1954, № 4, стр. 100.

107. Тумаркин Л. А. Измельчение углей для коксования. Кокс и химия, 1957, № 8, стр. 7—10.

108. Турченко П. И. Новый способ увеличения разовой загрузки коксовых печей. Сталь, 1952, № 5, стр. 398—402.

109. Тютюников Ю. Б., Солдаткин А. И., Двужильная Н. М. и др. Использование газовых углей в шихтах южных коксохимических заводов. Кокс и химия, 1957, № 2, стр. 20—23.

110. Тютюников Ю. Б. Опытно-промышленное коксование шихт с участием 40% донецких газовых углей. Кокс и химия, 1957, № 6, стр. 10—12.

111. Тютюников Ю. Б. Применение токов высокой частоты для нагрева угольных формовок в стадии спекания. Кокс и химия, 1957, № 12, стр. 22—26.

112. Улицкий Л. И. Вопросы экономики коксохимической промышленности. Металлургиядат. 1960.

113. Фельдбрин М. Г., Грязнов Н. С., Лазовский И. М. Использование газовых и слабоспекающихся углей в шихтах восточных заводов. Кокс и химия, 1958, № 3, стр. 3—6.

114. Филиппов Б. С., Сазонов С. А., Щукин П. А. Итоги конференции работников коксохимической промышленности в Польше. Кокс и химия, 1958, № 4, стр. 54—58.

115. Фришберг С. А., Сазонов. Развитие сырьевой базы коксования на востоке СССР. Кокс и химия, 1960, № 5, стр. 6—9.

116. Фришберг В. Д., Сухенко С. И. Продолжительность коксования шихт с повышенным участием газовых углей Кузнецкого бассейна. Кокс и химия, 1960, № 8, стр. 11—12.

117. Фришберг В. Д., Попова М. Е., Пермитина К. С. Свойства матовой части (дуренов) углей Балахонской свиты Кузнецкого бассейна. Кокс и химия, 1956, № 2, стр. 5—12.

118. Хотунцев Л. Л. Физико-химические явления в процессах брикетирования твердого топлива. Изд-во АН СССР, 1960.

119. Цылев Л. М., Дмитриев Г. Н., Махалов П. Н. Производство и потребление бурого угольного кокса в ГДР. Metallurgizdat, 1961.

120. Цуккерман И. И. Изыскание нового вида недефицитного связующего для брикетирования угольной мелочи энергетических углей Печорского бассейна. Отчет Печорского филиала ВУГИ, Воркута, 1954.

121. Цыновников А. С., Мустафин Ф. А. Опыт внедрения слабоспекающихся углей. Кокс и химия, 1956, № 5, стр. 6—9.

122. Цыновников А. С., Мустафин Ф. А., Гусев А. П. Подготовка углей и шихт к коксованию. Кокс и химия, 1956, № 8, стр. 10—12.

123. Чернов Г. А. Рациональные схемы измельчения угольной шихты. Сталь, 1951, № 3.

124. Чижевский Н. П. Коксование подмосковных углей вместе с донецкими и в самостоятельном виде. Машметиздат, 1932.

125. Чижевский Н. П., Попутников Ф. А. Получение малозольного кокса путем шихтовки обогащенных жирных углей с малозольными топливами. Химия твердого топлива, 1934, № 3.

126. Шапиро М. Д., Альтерман Л. С., Раскина Л. С. Кинетика термического разложения угля. Химия и технология топлив и масел, 1957, № 12, стр. 64—69.

127. Шилевич А. Трамбование угольных шихт в Польской Народной Республике. Кокс и химия, 1959, № 10, стр. 12.

128. Замковой И. Е. Литейный кокс из шихт с участием газовых углей. Кокс и химия, 1961, № 1, стр. 26—27.
129. Зенкс Я. Угольные базы для коксования. Госгортехиздат, 1960.
130. Ситулин И. К. Производство кокса с трамбованием шихты. Кокс и химия, 1960, № 12, стр. 57—60.
131. Тайц Е. М., Окладников В. П., Равич Б. М., Андреева И. А. Металлургическое и бездымное топливо из газовых и слабоспекающихся углей. Химия и технология топлив и масел, 1960, № 3, стр. 31—36.
132. Abramski C. Neuere Arbeiten zur Herstellung eines verbesserten Hüttenkokses. «Brennstoff—Chemie», 1953, 18/II, Bd. 34, № 3/4.
133. Abramski C. Die Anwendung der selektiven und petrographischen Aufbereitung zur Vorbereitung der Kokskohlengründe und zur Verbesserung der Koksbeschaffenheit. «Glückauf», 1955, B. 91, № 25/26, S. 714—727.
134. Agroskin A. A. Möglichkeiten zur Erweiterung der Kokskohlenbasis. Akademie-Verlag, Berlin, 1960.
135. Ahuja L., Kini K., Lahiri A. Effect of reduced ring structures on the coking power of coals.—Journ. Scient. a. Ind. Res., 1959, № 5, B 216—217.
136. Andrews R. S. Pressure gasification of brown coal at Morwell, Australia. «Publ. Inst. Gas Engrs», 1957, № 503, p. 31.
137. Asai K., Tanno H. Fabrication de coques métallurgiques à partir de charbon birman par le procédé de carbonisation en deux temps du Coal Research Institute.—«Annales des Mines de Belgique», 1955, XI, p. 971—980.
138. Barbu I., Stefanescu I. Noi cai de utilizare a cărbunilor inferiori: fabricarea cocsului din cărboni necocsificabili. «Revista Minelor», 1955, VIII, № 8, p. 266—271, № 10 p. 358—41.
139. Barbu J. Cocs din cărbuni necocsificabili (V). «Revista minelor» 1957, 8, № 4, 189—191.
140. Barbu J., Stefanescu J. Fabricarea cocsului din cărbuni necocsificabili. «Metallurgia», 1957, 9, № 1, p. 41—50.
141. Bardgett H. Utilization of weakly-coking coals in metallurgical coke production. «Iron and Coal Trades Review», 1958, 11, v. 176, № 4681, p. 33—37.
142. Barking N. U., Eymann C. Die Beeinflussung der Verkokungseigenschaften von Kohle durch Eisenerze, ihre Bedeutung für die Kohlaufbereitung und für die Eisenkoksherstellung. «Brennstoff—Chemie», 1956, 9/V, Bd. 37, № 9—10, S. 129—144.
143. Barking H., Eymann C. Die Herstellung von Eisenkoks aus hochbituminösen Kohlen. «Stahl u. Eisen», 1955, 75, № 7, S. 386—391.
144. Barrit D. T., Kennaway T. Some new carbonization processes under development and their relation to established practice. «Journ. Inst. of Fuel», 1954, Mai, p. 229—248.
145. Bähr H. Verfahren zur Gewinnung von Teer und festen Schwelkoks. «Braunkohle», 1943, 42, S. 293.
146. Baum K. Autogene Verkokung, ein neues Verfahren zur gleichzeitigen Erzeugung von billigem Verfahrenskoks und Wärmeenergie. Brennstoff—Wärme Kraft, 1954, № 7, S. 244—249.
147. Berkowitz N. «Brennstoff—Chemie», 1953, 21/X, B. 34, № 19/20, S. 289—294.
148. Bilkenroth G., Rammler E. Braunkohlen-Hochtemperaturkoks. Bergbautechnik, 1952, № 1, S. 27—32.
149. Bilkenroth G., Rammler E. Über die Herstellung von Braunkohlen—Hochtemperaturkoks und seine Verwendungsmöglichkeiten. Metallurgie u. Giessereitechnik, 1953, № 2, S. 61—67.
150. Bilkenroth G. Braunkohlenenergie und Braunkohlenveredelung «Freiberger Forschungsh.», 1956, A, № 61, S. 1—63.
151. Blyden H. E., Noble W., Riley H. L. The influence of carbonising conditions on coke properties. «Journ. Iron and Steel Inst.», 1937, № 11,

152. Breitmayer T., West F. Improving density and strength of charcoal briquettes. «Ind. Eng. Chem.» 1952, v. 44, p. 2234.
153. Broadbent R., Donnelly R., Platell N. The production of coked briquettes from Western Australian subbituminous coals. «Journ. Inst. Fuel», 1955, I, v. 38, № 168.
154. Brückner A., Huber G. Über die Beeinflussung der Verkokungseigenschaften des Steinkohlen-Teerpechs durch Kondensationsreaktionen. «Gas u. Wasserfach», Ausg. Gas, 1951, 92, S. 53—54.
155. Bube R. Verfahren zur Herstellung von für Verhüttungszwecke geeignetem Koks aus Braunkohle—DRP, 1944, № 749875.
156. Burstlein E. Le charbon à coke; pénurie ou abondance? «Congres du centenaire de la Société de l'industrie minière», Paris, 1955, VI.
157. Burstlein E. La cokéfaction des charbons lorrains.—«Chaleur et Industrie», 1950, IX.
158. Burstlein E. La préparation sélective et pétrographique des charbons en vue de leur cokéfaction. «Chaleur et Industrie», 1954, XII, № 353, 1955, I, № 354, p. 14.
159. Burstlein E. La préparation pétrographique des charbons et son application à l'industrie de la distillation de la houille. Ass. technique de l'industrie du gaz France. Congrès, 1951.
160. Carbonization of Coal. «Gas World», 1951, 4/VIII, v. 134, № 3494, p. 106.
161. Clifton U. Journ. Inst. Fuel, 1955, V, v. 28.
162. Decalf H. Incorporation du fuel dans une pâte à coke métallurgique comportant 60% de charbons flenus. «Docum. métallurg.», 1956, № Spec. Ski, p. 108—115.
163. Deutsche Steinkohlenbergbau, Bd. 3, Brikettieren der Steinkohle, Essen, 1958.
164. Dietrich. Der Einfluß von Feinmahlung und einfacher Absiebung auf das Kokungsergebnis ballastreicher Donez-Kohlen; Mitt. Inst. f. Energetik, 1959, Heft 16, S. 328/344.
165. Dolch M. Die Erzeugung von Hüttenkoks aus nichtbackenden Kohlen. «Glückauf» 1922, B. 58, S. 772—776.
166. Engshuber M. Über das Agroskin-Verfahren zur Erhöhung des Schüttgewichtes von Koks kohle. «Bergakademie», 1955, № 7, S. 330—338.
167. Engshuber M. Die Koks kohlen-Vorbereitung in Mühlenkreisläufen. «Energietechnik», 1956, XII, № 12, S. 556—560.
168. Engshuber M. Betrachtungen zur Anwendung der Mühlenkreislaufrufschaltung bei der Vorbereitung der Steinkohle für die Verkokung. Mittel. «Inst. für Energetik», 1957, № 2.
169. Engshuber M. Die Erzeugung von Formkoks. Bericht 4 (383) 59 F, Inst. für Energetik.
170. Fischer F., Pranschke A., Sustmann N. Die Herstellung von festem Halbkoks aus schwerbackender oder nichtbackender Kohle unter Zusatz von gewöhnlichem oder oxydiertem Urteer. «Brennstoff-Chemie», 1929, B. 10, S. 480—487.
171. Fischer F. u. a. Die Schwelung von Steinkohlen und Braunkohlen in einer Gasatmosphäre von erhöhten Druck. Brennstoff-Chemie, 1930, v. 11, S. 1.
172. Foch P., Loison R. Rapport sur l'activité de la station expérimentale de Marienau en 1956. Rev. ind. minière, 1958, 40, № 1, p. 1—34.
173. Foxwell G. E., Johnson C. Coal requirements. «Gas World», 1950, 15/VII, v. 132, № 3439, p. 76—80.
174. Gas and coke from noncoking fuels. «Coke and Gas», 1956, IX, vol. 18, № 208, p. 347—352.
175. Gillmore, Wright and Kinney. Factors influencing the strength of carbonized briquettes prepared from Anthrafines and pitch binders. Journ. Inst. Fuel, Febr. 1959, p. 50/56.

176. Gollmer W. Über die thermische Behandlung von Steinkohlenbriketts. «Glückauf», 1956, 92, № 11—12, S. 320—329.
177. Granger G., Lach M. J., Mitchell J. The production and use of ferrocoke. Coke and Gas, 1960, IV, v. 22, № 251, p. 147—54.
178. Gregory. Hot briquetting. From the book by Sharpley, Chemical engineering in the coal industry. Pergamon Press, London, 1956.
179. Gruson, Garstka. Herstellung von Giesserei Bereischmelzkoks, Bergakademie, 1959, S. 706—707.
180. Gruson G. und Skoddow W. Möglichkeiten und Grenzen des Stampfbetriebes in Steinkohlenkokereien. Freiburger Forschungshefte A 112, S. 22/36.
181. Hadži D., Kavčič R., Samec M. Über die Verkokung nichtbackenden Kohlen. «Brennstoff—Chemie», 1954, B. 35, № 3/4, S. 44—47.
182. Haidegger H., Szebeinyi. Die Verkokung von öbenetzter Kohle in der Vertikal-Kammeranlage, Bergakademie, 1959, S. 64/68.
183. Hamilton J., Wolf C. Coking experiments on Western coals. Ind. and Eng. Chemistry, 1949, v. 41, № 3, p. 556—63.
184. Hock H. «Braunkohle», 1943, B. 42, № 9, S. 97—103.
185. Hock K. Druckfeste Formkoksstücke aus Steinkohlenschwelkoks. № 854194, 25. 4. 53. FRG.
186. Hoffmann H. Aufbereitungstechnische Trennung der petrographischen Kohlenbestandteile. «Glückauf», 1939, № 16.
187. Hoffmann H., Kühlwein F. L. Rohstoffliche und verkokungstechnische Untersuchungen an Saarkohlen. «Glückauf» 1935, № 27, S. 625—34 u. № 28 S. 657—65.
188. Hoffmann H. Патент FRG, № 971692, 12. 3. 59.
189. Iyengar M. S., Chosch R. S. Influence of aerial oxidation on the binderless briquetting of coals. «Fuel», 1960, v. 39, № 2, p. 113—117.
190. Iyengar M., Lahiri. Physikochemische Gesichtspunkte bei der Verwendung von Braunkohle aus Süd-Arcot. Brennstoff—Chemie, 1958, S. 239.
191. Jenkner A. Neue Wege zur Kokserzeugung. «Technische Mitteilungen», 1955, V, B. 48, № 5, S. 142—150.
192. Jäppelt A. Hochtemperaturkoks aus Braunkohle unter Zusatz von Steinkohle. «Freiberger Forschungshefte», 1954, A 24.
193. Jäppelt A. Probleme um die Backfähigkeit von Brennstoffen. «Brennstoff—Chemie», 1953, 19. VIII, B. 34, S. 226—232.
194. Idris J. Recent research and development in Great Britain in the thermal treatment of coal. «Gas World», 1956, 30. VI v. 143, № 3750, p. 1510—1511.
195. Jensen O. A new electric process for the carbonisation of non-coking bituminous coal. J. Inst. Fuel, 1950, v. 23, № 129, p. 54—55.
196. Kabele K. «Hutnicke Listy», 1950, T. 10, № 1, стр. 11—24.
197. Kabele K. Koksovani hnedeho uhli. Hutnicke Listy, 1955, № 1, стр. 21—54.
198. Kegel K. Die Herstellung von Briketts aus Braunkohlenschwelkoks. «Braunkohle», 1931, B. 30, S. 47—50.
199. Kirkby W. A. Notes on recent developments in fuel technology. «Fuel in Sciencea. Practice», 1947, IX—X, v. 26, № 5, p. 117—8.
200. Kirkby W. A. Recent developments in fuel technology. «Fuel», 1948, IX—X, № 4, p. 136.
201. Kozlansky O. Буроугольный кокс. Прага, 1952.
202. Kramers W. J. Formation of coke from weakly caking coal by rapid carbonization. «Fuel» 1950, v. 29, № 8, p. 184—187.
203. Kurozotow M. S. Koks—Smola—Gaz, 1956, 1, № 4, 125—127.
204. Lameck P. Manufacture of pig-iron from ore fines and noncoking coals. «Jr. a. Coal Tr. Rev.», 1948, 4/VI, p. 1173—7,

205. Leher C. E. Low-temperature coke as a reactive carbon. «Mining Eng.», 1950, VII, v. 187, p. 805—810.
206. Les procédés nouveaux de cokéfaction «Revue de l'Industrie Minérale», 1953, 1/XII, v. 34, № 602, p. 1055—1057.
207. Liarg F. Beitrag zur Chemie des Verkokungsprozesses.—«Zeitschr. angew. Chemie», 1922, B. 35, S. 264—268.
208. Lissner A. Grundsätzliches zur Frage der Verkokung nichtbackender Kohlen. «Freiberger Forschungsh.», 1954, 23A S. 90—101.
209. Lissner A., Göbel W. Gewinnung von kokfähigen Bindemitteln aus Braunkohlenproduktion. «Freiberger Forschungsh.», 1952, A 14, S. 6—11.
210. Lissner A., Rammner E. Edelkoks aus Braunkohlen. Freiberger Forschungshefte, A 119.
211. Littlechild J. E. Coal blending and grinding for carbonising purposes. «Gas World», 1953, 6/VI, v. 137, № 3590, Coking Sect., p. 91—99.
212. Loison R. Fabrication de coke sidérurgique au moyen de charbons peu cokéfiants. Conférence Mondiale de l'Energie. Belgrad, VI, 1957.
213. Loison R., Foch P. Choice of constituents of a coke blend. Proc. Blast Furnace Coke Oven and Raw Mater. Soc. Amer. Inst. Mining, Metallurg. a. Petrol Engrs., 1958, vol. 17, pages 170—188.
214. Mander. Briquetting as a solution to the breeze problem. Gas Journ. 1949, p. 723—730.
215. Menzel H. Die technischen Grundlagen der Brikettierung von nach Freiberger Spülgasverfahren erhaltenem Braunkohlenkoks. «Kohle, Koks, Teer», 1931, 28.
216. Minchin L. T. Electrical carbonization of coal. «Coke and Gas», 1951, VI, vol. 13, № 145, p. 19.
217. Minchin L. T. «Coke and Gas», 1952, 158.
218. Minchin L. T. Coke from weakly coking coals. «Coke and Gas» 1953, V, p. 167—171.
219. Мору Вéла. Коксование бурого угля в Венгрии. Energia és Atomtechnika, 1957, vol. 10, № 8—10, S. 439—449. Сб. «Химическая переработка топлива» И. Л. 1959, стр. 84—94.
220. Myhill A. R. The preparation and use of lower-rank coals for gas-making. «Coke and Gas», 1956, vol. 18, № 207, p. 316—318.
221. New coking processes. O. E. E. C. Report, Paris, 1953, (on sale at H. M. Stationery Office).
222. Newman P. C. Plastic deformation of coal. British «Journ. of applied physics», 1955, X, v. 6, № 10, p. 348—349.
223. Oele J. A. Untersuchungen über die Erweichung, das Blähvermögen und das Treiben im Bereich der Fettkohlen. «Brennstoff Chemie», 1952, B. 33, S. 231—238.
224. Partington R., Sidebottom R. Effect of certain inorganic additives on the quality and yield of lowtemperature coke. Journ. Inst. Fuel, 1959, vol. 32, № 224, p. 417—21.
225. Perch M., Russel Ch. Preheating coal for carbonization. Blast Furnace a. Steel Plant, 1959, v. 47, № 6, p. 591—97.
226. Production and use of ferro-coke. «Foundry Trade Journ.», 1955, 11/VIII, p. 99, № 2032, p. 155—156.
227. Rammner E. Zur Entwicklung der Arbeiten über Braunkohlenhochtemperaturkoks. «Bergakademie», 1952, B. 4, S. 7—14.
228. Rammner E., Bilkenroth G. Grundlagen der Herstellung von Braunkohlenhochtemperaturkoks. «Freib. Forschungsh.», 1953, A13, S. 6—13.
229. Rammner E., Bilkenroth G. Herstellung und Eigenschaften von Braunkohlen-Hochtemperatur-Koks. «Neue Hütte», 1956, II, № 4, S. 226—234.
230. Rammner E., Jakob K., Bilkenroth G. Über die Messung der Warmdruckfestigkeit von Braunkohlen-HT-Koks. Freiberger Forschungshefte, 1953, A-18, S. 36—40.

231. Reed F. H. Coke from Illinois coals.—Ing. a. Eng. Chemistry» 1945, 8/VI, vol. 37, № 6, p. 560—6.
232. Reerink W. Neue Erkenntnisse für die Beurteilung und Herstellung von Koks unter Berücksichtigung der verschiedenen Verwendungszwecke. «Stahl u. Eisen», 1955, Bd. 75, № 6, S. 322—335.
233. Reerink W. Etudes sur la cokéfaction des agglomères en Allemagne, «Ann. des Mines de Belgique», 1956, XI, № 6, p. 916—922.
234. Sabatier J. Herstellung von geeignetem Hüttenkoks aus schlechtverkokbaren Kohlen. «Génie Civil», 1950, 127, p. 104—107.
235. Samec M. Probleme der Koksgewinnung aus schlechtkokenden Kohlen. «Erdöl u. Kohle», 1952, B. 6, S. 331.
236. Sanna D. Intérêt technique et économique des additions ferreuses à la pâte à coke. Cire inform. techn. Centre docum. Sidér., 1959, vol. 16, № 12, p. 2583—2587.
237. Samec M. Probleme der Koksgewinnung aus schlechtkokenden Kohlen. «Chem. Ing. Technik», 1953, B. 25, S. 520.
238. Säuberlich K., Richter G., Zwade W. Neue Hütte, 1958, B. 3, S. 553.
239. Säuberlich K., Zwade W. Neue Hütte, 1958, Bd. 3 (10), S. 594—602.
240. Schmidt H. Low temperature carbonisation under mechanical pressure. «Brennstoff-Chemie», 1957, 9/I, v. 38, p. 19—23.
241. Schmidt J. Magerung sächsischer Steinkohlen zur Verbesserung der Koksqualität. Mitt. Inst. f. Energetik, Heft 23, S. 179—185 und Heft 25 S. 278—295.
242. Schmidt J., Hanke. Verkokung verschiedener Steinkohlen unter Zusatz von Bitumen sowie im Gemisch mit Steinkohlenbriketts. Mitteilungen des Instituts f. Energetik, 1960, Heft 22, S. 77/87 und Heft 23 S. 155/171.
243. Schranz H. «Glückauf», 1958, № 25/26, S. 825—832. Кокс и химия, 1959, № 3, S. 61—63.
244. Seidenschner F. Brikettierung von Braunkohlenkoks. «Braunkohle» 1931, B. 30, S. 585—94.
245. Siderfin. The utilization of coke breeze. Coke and Gas, 1950, p. 350.
246. Smith F. W. Better coke by thermal pretreatment of coal. U. S. Bureau of Mines Rep. of Invest., 1958, № 5418.
247. Sommer H. Mittel und Methoden zur Einsparung von Zechenkoks. «Technik», 1952, VIII, № 8, S. 449—54.
248. Spetl F. Die Erzeugung von Hüttenkoks aus Braunkohle. Paliva, 1954, № 5, S. 110—115.
249. Stuchlik, Vyroba. koksů s primesi kyzovych vypalků a vysokopecníko vybozu. Paliva, 1959, S. 150—154.
250. Teinický B., Kunc J. «Paliva», 1955, № 7, p. 189—194, № 8, p. 224—228, № 9, p. 256—259, № 10, p. 297—302.
251. Terbeck W. Verfahren zur Erzeugung von Formkoks, vorzugsweise aus Kohlen von ungenügendem Verkokungsvermögen. Pat. FRG № 973527, 17. 03. 60.
252. Thau A. Metallurgical coke. «Fiat Final Report», № 408, Washington, 1945, XI.
253. Thau A. Hüttenkoks aus Braunkohle. «Braunkohle», 1953, I, v. 5, № 1—2, p. 12—20.
254. Thau A. Brennstoffschwellung. B. I, Verlag W. Knapp, Halle/Saale, 1949.
255. The Burstlein Process of coal preparation for coking. «Colliery Guardian», 1958, 16. I, v. 196, № 5055, p. 87.
256. The First Coke Plant built in Yugoslavia. «Gas World», 1953, 4. IV, v. 137, № 3581, «Coking Section», p. 55.

257. The Production of metallurgical coke from non-coking coals. «Coke and Gas», 1948, XI, p. 397.
258. The Petrographic Preparation of Coals for coking. «Coke and Gas», 1956, VII, № 20, p. 6, VIII, № 207, p. 288—292.
259. Trifonow I., Toschew G. Aenderungen der Eigenschaften der Kohlen nach Verpressen unter sehr hohem Druck «Brennst.—Chemie», 1948, XXI, 85.
260. Szpilewicz A. Problematik des Stampfbetriebs im Kokereiwesen. Freiberger Forschungshefte, 1960, A, № 141, S. 86—96.
261. Blum J., Bolchi F., Nistor I. Betrachtungen über aktuelle Verkokungsprobleme und zukünftige Koksherstellungsmethoden als Folge der Rohstoffbasis. Freiberger Forschungshefte, 1960, A, № 141, S. 5—23.
262. Echterhoff H. Der Einfluß der Verkokungsgeschwindigkeit und der Koksendtemperatur auf die Eigenschaften des Kokes. «Glückauf», 1960, 16/VII, Bd. 96, S. 853—863.
263. Evans D. G., Higgins R. S., Kennedy G. L. Brown coal char as a fuel for foundry cupolas. The British Foundryman, 1959, vol. 52, pp. 171—183.
264. Higgins R. S., Kennedy G. L. Experience in the carbonisation of brown coal briquettes at Morwell. Proc. Austr. Inst. Min. Met., 1960, № 195.
265. Kennedy G. L., Evans D. G. Metallurgical fuel from Victorian brown coal. Journ. Inst. Fuel, 1958, vol. 31, pp. 242—247.
266. Kennedy G. L., Evans D. G. Research in the development of a metallurgical fuel from brown coal. Journ. Austr. Inst. Metals, 1958, vol. 3, p. 61—75.
267. Kennedy G. L. Review: Development of the Production of metallurgical fuel from brown coal.—Journ. Inst. Fuel, 1960, vol. 33, № 239, pp. 598—608.
268. Rummel R. Über die Abhängigkeit der Koksgüte von der Beschaffenheit der Braunkohlenbriketts und der Führung ihrer Verschwelung. «Öl und Kohle», 1944, Bd. 40, S. 709—723.
269. Bilkenroth G., Rammner E. Der derzeitige Stand der Herstellung von Braunkohlen—Hochtemperaturkoks aus feinkörnigen Briketts in der Deutschen Demokratischen Republik, Bergbautechnik, 1961, Bd. 11, № 4, S. 171—176.
270. Blum J., Nistor I. Coke briquettes from non-caking or slightly caking coal throu thermochemical treatment. I Laboratory researches. Rev. electro-techn. et energ. (RPR), 1960, vol. 5, № 2, S. 459—470.
271. Foch P. Possibilités d'emploi des charbons peu cokéfiantes par la séchage préalable de la pâte á coke. Symposium sur la Carbonisation du Charbon, Jealgora, 1957.
272. Lüssner A., Rammner E. Edelkoks aus Braunkohlen. Freiberger Forschungsh. 1958, A, 119.
273. Loison R., Foch P. Rapport sur l'activité de la station expérimentale de Marienau en 1959. Revue Industrie Minérale, 1961, vol. 43, № 1, p. 1—28.
274. Loison R., Foch P. Rapport sur l'activité de la Station Expérimentale de Marienau en 1960. Rev. Indust. Minérale, 1961, vol. 43, № 9, p. 593—618.
275. Zielinski H. Proce Institute Chemiczney Przerobki Wegla nad otrzymaniem koku matalurgicznego z Wegli neikoksujacycu. Koks—Smola—Gaz, 1957, vol. 6, стр. 285.
276. Агроскин А. А., Андреева И. А., Равич Б. М. Исследование коксуемости Саяно-Партизанского угля. Кокс и химия, 1962 (в печати).
277. Белов К. А., Зайченко Е. М., Коксование газовых углей в немельченном виде. Кокс и химия, 1961, № 8, стр. 6—9.
278. Бреслер А. Е. Получение металлургического топлива из углей Красноярского края методами новой и существующей технологии. В сб. «Пер-

спективы развития угольной промышленности и энергетики Красноярского края». Изд-во АН СССР, 1960, стр. 60—93.

279. Буторин В. И. Использование антрацитовой мелочи в шихте Ленинградского коксозаводского завода. Кокс и химия, 1961, № 8, стр. 13—15.

280. Гинзбург Я. Е. О коксовании угля в две стадии. Кокс и химия, 1938, № 2—3, стр. 43—49.

281. Грязнов Н. С., Лазовский И. М., Фельдбрин М. Г., Коренский В. И. Подготовка углей для коксования методом пневмомеханической сепарации. Кокс и химия, 1961, № 8, стр. 4—6.

282. Грязнов Н. С., Варшавский Г. П. Подготовка и коксование углей. Сборник статей Восточного углехимич. ин-та, Металлургиздат, 1960, вып. 2.

283. Дворин С. С., Житов Б. Н., Макаров Г. Н. и др. Коксование предварительно нагретых углей как метод интенсификации производства кокса и улучшения его качества. Труды МХТИ им. Д. И. Менделеева, 1959, вып. XXVIII.

284. Еник Г. И. Об особенностях механизма коксования уплотненных шихт. Тр. Ин-та горючих ископаемых АН СССР, 1961, № 12, стр. 94—98.

285. Житов Б. Н., Макаров Г. Н. Исследование влияния предварительно нагретой угольной шихты на загрузку. Кокс и химия, 1961, № 12, стр. 3—6.

286. Кирхгоф А. Кокс из бурого угля. Советский Шахтер, 1961, № 1, стр. 18—19.

287. Крым В. С., Елович С. Ю. К вопросу об использовании коксовой мелочи. Кокс и химия, 1932, № 5, стр. 6.

288. Куперман П. И., Попов Н. А., Агапов Б. Г. Изучение возможности введения магнитного шлиха в угольную шихту для коксования. В сб. «Подготовка и коксование углей». Вып. 2, Свердловск, Металлургиздат, 1960, стр. 211—215.

289. Лисин Д. М., Алехина В. И., Вторушина Н. А. Влияние давления брикетирования на спекаемость углей. В сб. «Вопросы теории и технологии коксования углей», из-во Сиб. отд. АН СССР, 1961, стр. 35—52.

290. Лаврик С. Н., Лоскутова Е. Н. Влияние термической подготовки и формования газовых углей на пористую структуру и прочность кокса. В сб. «Вопросы теории и технологии коксования углей», Изд-во Сиб. отд. АН СССР, 1961, стр. 59—70.

291. Матвеев В. Е. Перспектива производства и применения железокоса. В сб. «Вопросы теории технологии коксования углей», изд-во Сиб. отд. АН СССР, 1961, стр. 95—103.

292. Матвеев В. Е., Лисин Д. М. Коксование угольно-рудных брикетов как метод окосования и химической подготовки руд к доменной плавке. В сб. «Вопросы теории и технологии коксования углей», изд-во Сиб. отд. АН СССР, 1961, стр. 105—113.

293. Пак Сын Нок. Выплавка чугуна с применением железокоса, Металлургиздат, 1959, № 6, стр. 5—7.

294. Полубяков Ф. А. Получение металлургического кокса на базе спекающихся углей Иркутского бассейна. Сб. «Вопросы коксования и брикетирования углей Восточной Сибири». Изд. АН СССР, 1958, стр. 26—42.

295. Старке Э. П., Лисин Д. М. О причинах положительного действия термической подготовки углей на качество кокса. В сб. «Вопросы теории и технологии коксования углей», изд-во Сиб. отд. АН СССР, 1961, стр. 53—58.

296. Тайц Е. М., Андреева И. А. Получение кокса из углей низкой стадии метаморфизма, Кокс и химия, 1960, № 12, стр. 22—25.

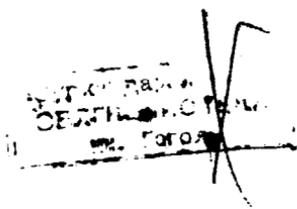
297. Титов Н. Г., Федоровская Н. П., Жаворонкова А. В., Сурина Н. Л. Влияние минеральных веществ на процесс образования углей и на их химико-технологические свойства. Изв. Отд. техн. наук АН СССР, 1954, № 9, стр. 114—123.

298. Турченко П. И., Мессерле П. Е., Остапченко А. В. Термообработка и подсушка угля. Кокс и химия, 1961, № 2, стр. 7—10.

299. Тютюняников Ю. Б., Чигрин Ю. И. Исследование условий получения и качества формованного кокса из бинарных шихт. Сборник научных трудов Укр. научно-исслед. углехимич. ин-та, 1960, № 11 (3), стр. 76—81.

300. Фельбербаум И. Я., Зильберг Г. А., Чуфаровский В. Н. К вопросу о введении полукокса в шихту для коксования. Химия твердого топлива, 1932, № 5—6.

301. Цикарев Д. А. К определению оптимальных условий получения формованного кокса из газовых углей Донбасса. Тр. Ин-та горючих ископаемых АН СССР, 1961, вып. 12, стр. 77—81.



Авторы

АГРОСКИН Анатолий Абрамович
ШЕЛКОВ Александр Константинович

Редактор издательства *В. И. Птицына*
Технический редактор *М. К. Аттопович*
Переплет художника *В. С. Кулинич*

Сдано в производство 24/II—1961 г.	Подписано в печать 26/IV—1962 г.
Бумага 60×90 ^{1/16} 9,50 бум. л. = 19,0 печ. л.	Уч.-изд. л. 18,76.
T-05135	Заказ 1744
Тираж 2350	Изд. № 3316
	Цена 1 р. 09 к.

Металлургиздат
Москва, Г—34, 2-й Обыденский пер., 14.
Типография Metallurgizdata, Москва, Цветной б., 30.

ЗАМЕЧЕННЫЕ ОПЕЧАТКИ

Стр.	Строка	Напечатано	Должно быть	По чьей вине
16	8 сн.			Авт.
55	21 св.		методу. 0,05	Считч.
252	19 сн.	методу [166]. 0,06 его составляла 58,7 мм против 60,8 мм. Фактическая сред-	держанием фрак- ции 40—25 мм (17%). Кокс из шихты с содер-	Тип.
252	17 сн.	не- обычной производст- венной шихтой	коксом из обычной производственной шихты	Авт.
294	26 св.	Фришберг С. А., Са- зонов	Фришберг В. Д., Сазонов С. А.	»

ТРЕБУЙТЕ В МАГАЗИНАХ КНИГОТОРГА КНИГИ МЕТАЛЛУРГИЗДАТА

Агроскин А. А. **Физические свойства угля.** Для инженерно-технических работников коксохимической и угольной промышленности, может быть использована студентами. 1961, 312 стр., ц. 1 р. 11 к.

Белов К. А. и Лазорин С. Н. **Интенсификация работы бензольных отделений на коксохимических заводах.** Для инженерно-технических работников и студентов. 1959, 142 стр., ц. 44 коп.

Брон Я. А. и Сатановский С. Я. **Трубчатые агрегаты для перегонки каменноугольной смолы.** Для инженерно-технических работников коксохимических заводов, может быть полезна студентам. 1960, 230 стр., ц. 84 коп.

Вирозуб И. В. и Кустов Б. И. **Тепловой режим коксовых печей.** Для инженеров и техников коксового производства, работников научно-исследовательских институтов, может быть использована студентами вузов, специализирующимися по переработке твердого топлива. 1960, 239 стр., ц. 87 коп.

Возный Г. Ф. **Усовершенствование процессов отсадки и центрифугирования угля на углеобогатительных фабриках.** Для среднего технического персонала и квалифицированных рабочих. 1957, 59 стр., ц. 10 коп.

Гольбрайхт Ю. А. **Улучшение условий труда и техника безопасности в углеподготовительных и коксовых цехах.** Для рабочих и мастеров коксовых и углеподготовительных цехов. 1960, 67 стр., ц. 1 р. 75 к.

Дешалит Г. И. **Среднетемпературное коксование углей.** Для широкого круга лиц, работающих в области коксования углей, химической технологии топлива, может быть полезна студентам. 1961, 54 стр., ц. 16 коп.

Егоров Н. Н. и др. **Очистка от серы коксового и других горючих газов.** Для инженерно-технических работников; может быть полезна студентам, специализирующимся в области переработки топлива и горючих газов. 1960, 341 стр., ц. 1 р. 21 к.

ТРЕБУЙТЕ В МАГАЗИНАХ КНИГОТОРГА КНИГИ МЕТАЛЛУРГИЗДАТА

Коксохимическое производство. Сборник статей. Для инженерно-технических работников заводов, проектных и исследовательских институтов, может быть полезна студентам. 1959, 240 стр., ц. 88 коп.

Коляндра Л. Я. Улавливание и переработка химических продуктов коксования. Для инженерно-технических работников, может быть полезна студентам химико-технологических вузов и техникумов. 1962, 468 стр., ц. 1 р. 66 к.

Криворучко С. С. Машинист коксоваталкивателя. Учебник для подготовки квалифицированных рабочих. 1961, 174 стр., ц. 27 коп.

Новое в химической технологии угля (перев. с англ.). Для инженерно-технических работников коксохимической и угольной промышленности. 1961, 155 стр., ц. 67 коп.

Петренко Д. С. Производство пиридиновых оснований на коксохимических заводах. Учебное пособие для индивидуально-бригадного обучения рабочих, может быть полезна молодым специалистам. 1961, 176 стр., ц. 41 коп.

Совершенствование технологического контроля коксохимического производства. Сборник статей. Для инженерно-технических работников предприятий и научно-исследовательских институтов. 1958, 360 стр., ц. 1 р. 26 к.

Сысков К. И. и др. Основные закономерности поведения кокса при вторичном нагревании. Для инженерно-технических работников доменных и коксохимических цехов и химических предприятий. 1962, 112 стр., ц. 34 коп.

Тайц Е. М. Свойства каменных углей и процесс образования кокса. Для инженерно-технических работников и студентов. 1961, 299 стр., ц. 1 р. 09 к.

В случае отсутствия книг в местных магазинах заказы адресуйте:

**г. Москва, В-168, 5-я Черемушкинская, 14, магазин № 93
«Книга — почтой».**

**КНИГИ ВЫСЫЛАЮТСЯ НАЛОЖЕННЫМ ПЛАТЕЖОМ
БЕЗ ЗАДАТКА**