

На правах рукописи

КАЧАН ДЕНИС МИХАЙЛОВИЧ

**ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА ПРОКАЛИВАНИЯ
НЕФТЯНОГО КОКСА В КАМЕРНЫХ ПЕЧАХ**

02.00.13 - Нефтехимия

АВТОРЕФЕРАТ

**диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Санкт-Петербург

2005

Работа выполнена в Государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет).

Научный руководитель - доктор технических наук, профессор
Проскураков Владимир Александрович

Официальные оппоненты: - доктор технических наук,
старший научный сотрудник
Янко Эдуард Афанасьевич

кандидат технических наук,
старший научный сотрудник
Глезин Иосиф Львович

Ведущая организация - ОАО "Новочеркасский электродный завод"

Защита состоится «21» июня 2005 г. в 11 часов на заседании диссертационного Совета Д 212.230.01 при Санкт-Петербургском государственном технологическом институте (техническом университете).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета).

Отзывы и замечания в одном экземпляре, заверенные печатью, просим направлять по адресу: 198013, Санкт-Петербург, Московский пр., 26, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Учёный Совет.

Автореферат разослан «20» мая 2005 года.

Учёный секретарь Диссертационного Совета
кандидат химических, доцент



В.В.Громова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Прокаливание нефтяного кокса является необходимым этапом его подготовки к использованию в производстве анодной и графитированной электродной продукции для нужд алюминиевой и электросталеплавильной промышленности. Прокаленный кокс пользуется в России постоянным спросом, который за счет внутреннего производства удовлетворяется далеко не полностью. Только в алюминиевой промышленности дефицит отечественного прокаленного сырья составляет около 500 тыс.т/год. С учетом ожидаемого роста производства алюминия и электродов этот дефицит в ближайшей перспективе может значительно возрасти. Покрытие растущей потребности отечественной металлургии в прокаленном коксе за счет импорта сталкивается в последнее время с существенными трудностями, обусловленными сокращением поступления кокса на внешний рынок. В связи с этим интенсификация отечественных процессов производства прокаленного нефтяного кокса представляется весьма актуальной.

Крупнейшим в России производителем прокаленного кокса является ОАО "Завод "Сланцы", в котором в качестве прокалочных агрегатов применяются непрерывнодействующие вертикальные камерные печи. Всего на заводе эксплуатируется 5 батарей печей (по 23 камеры в каждой), производящих около 200 тыс.т/год прокаленного кокса. Получаемый продукт используется на российских алюминиевых и электродных заводах и частично экспортируется в Западную Европу.

Камерные печи, первоначальным назначением которых являлось производство бытового газа из горючих сланцев, применяются для прокаливания нефтяного кокса с 1970 г. За истекший период был разработан и реализован ряд технических решений, позволивших улучшить эксплуатационные показатели печей и потребительские свойства прокаленного кокса. Однако резервы и возможности совершенствования данной технологии нельзя считать исчерпанными.

Конечные результаты прокаливания кокса в камерных печах во многом определяются реакциями с участием газовой фазы. Управление этими реакциями и рациональное распределение парогазовых потоков внутри камерной печи положены в данной работе в основу дальнейшей оптимизации и интенсификации процесса. Исследования в указанном направлении имеют не только прикладное значение, но и представляют научный интерес.

Цель и задачи работы. Интенсификация процесса прокаливания кокса в камерных печах путем рациональной организации парогазовых потоков в слое кокса.

Основными задачами работы являлись:

- изучение закономерностей газообразования при прокаливании нефтяного кокса в лабораторных условиях и моделирование процесса с прямо- и противоточным движением парогазовых продуктов;

- разработка и опытно-промышленные испытания новой конструкции верхнего отбора газа из камерных печей и новой технологии прокаливания кокса в печах с измененной схемой отбора парогазовых продуктов,
- опытно-промышленные исследования технологии газового и парового охлаждения прокаленного кокса;
- промышленная реализация усовершенствованной технологии прокаливания кокса на батарее камерных печей.

Научная новизна. Исследованы закономерности формирования состава газовой фазы при слоевом прокаливании нефтяного кокса в интервале температур 300-1000°C и скорости его нагрева 1-2 град/мин.

Установлено, что состав и объем продукционных газов определяются глубиной протекания вторичных гетерогенных процессов с участием углерода кокса, углеводородных газов и водяного пара. Показано, что критериями степени конверсии парогазовых продуктов в данном процессе являются отношение водород : метан и количество оксида углерода в газах прокаливания.

Впервые разработаны компьютерные модели процесса при прямо- и противоточном движении газов относительно прокаливаемого кокса, позволяющие прогнозировать состав и выход газов при изменении внешних технологических факторов процесса.

Практическая ценность и реализация в промышленности. Разработана и внедрена в промышленное производство оригинальная конструкция камерной печи с дополнительным распределенным по длине камеры верхним отбором парогазовых продуктов прокаливания кокса. Внедрение новой конструкции и технологии позволило интенсифицировать процесс, повысить его теплотехническую эффективность, улучшить экологические показатели производства и условия труда обслуживающего персонала печей. Фактический экономический эффект от внедрения данной разработки в ОАО "Завод "Сланцы" в масштабе батареи печей за 2003-2004 г.г. составил 1,15 млн.руб. (в ценах на 01.01.05).

Разработано конструктивное оформление газового и парового охлаждения прокаленного кокса в нижней зоне печей. Исследования на промышленных камерных печах показали высокую эффективность парового охлаждения и возможность повышения производительности печей при его использовании.

Апробация работы. Материалы диссертации докладывались на научно-практической конференции "Современные проблемы производства и эксплуатации электродной продукции" (Челябинск, 2000 г.); на межотраслевой конференции "Нефтеперерабатывающая и алюминиевая промышленности - развитие сотрудничества, оптимизация связей по поставкам нефтяного кокса" (Красноярск, 2001 г.), на научно-практической конференции "Эколо-

гические технологии в нефтепереработке и нефтехимии" (Уфа, 2003 г.); на конференции межотраслевой рабочей группы "Нефтекокс" (Сланцы, 2004 г.).

Публикации. По материалам диссертации опубликованы 4 работы, в том числе 1 статья, тезисы 2 докладов и 1 патент.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, выводов, списка литературы и приложений. Работа изложена на 129 страницах, включает 21 таблицу и 31 рисунок. Список литературы содержит 102 наименования.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

1. Аналитический обзор

Рассмотрены основные закономерности процесса прокаливания нефтяного кокса, физико-химические свойства прокаленного кокса как сырья для производства электродной продукции, современное состояние технологии прокаливания и особенности тепло- и массообменных процессов в камерных печах.

Прокаливание нефтяного кокса является сложным многофакторным физико-химическим процессом. Специфика прокаливания в камерных печах (термообработка материала в косвенно нагреваемом нисходящем слое при длительном пребывании в зоне высоких температур в среде собственных летучих продуктов, движущихся в прямотоке с коксом и эвакуируемых из слоя в нижней наиболее нагретой его части) способствует глубоким вторичным превращениям летучих продуктов с образованием, в частности, пироуглерода и его отложением на коксе. К основным недостаткам процесса относятся высокие теплотраты при отсутствии какой-либо утилизации тепла отводимого газа и выгружаемого кокса, физические потери газа, в том числе в виде вредных выбросов из-за высокого давления вверх печей, а также низкая эффективность охлаждения прокаленного кокса. Кроме того, по мнению ряда исследователей, отложение пироуглерода на поверхности кокса ухудшает его эксплуатационные свойства, в частности снижает адсорбционную способность.

Анализ литературных данных и эксплуатационных показателей камерных печей позволяет считать, что оптимизация и интенсификация рассматриваемой технологии может быть во многом обеспечена при осуществлении противотока парогазовых продуктов прокаливания кокса с их полным или частичным отбором вверх печи. Другим направлением интенсификации процесса может стать организация дополнительного газового или парового охлаждения прокаленного кокса в нижней зоне печей.

В результате обобщения представленных в обзоре материалов сформулированы основные задачи и направления исследований при выполнении данной работы.

2. Изучение закономерностей газообразования в процессе прокаливания нефтяного кокса

Задачей данных исследований являлась предварительная оценка возможностей рациональной организации парогазовых потоков в камерных печах.

Для изучения закономерностей формирования газовой фазы в процессе прокаливания кокса при медленном нагреве (1-2 град/мин) были использованы лабораторные установки двух типов. На одной из них термообработка кокса в интервале температур 300-1000°C осуществлялась в тонком слое с быстрой эвакуацией из реакционной зоны образующихся парогазовых продуктов, что сводило к минимуму возможность их пиролиза на поверхности кокса. На другой - прокаливание кокса проводилось в условиях, моделирующих его термообработку в камерной печи, с отводом парогазовых продуктов из зоны максимальной температуры (в условиях опытов она составляла 1000°C). Прокаливанию подвергался кокс Волгоградского НПЗ с выходом летучих 9%, подсушенный до остаточной влажности не более 0,7%. В некоторых опытах в слой кокса подавалось заданное количество водяного пара, что позволяло моделировать изменение влажности сырья.

Динамика выделения летучих продуктов в зависимости от температуры прокаливания кокса характеризовалось следующими дифференциальными (Δ) и интегральными (Σ) показателями (в % от общей массы выделившихся летучих):

	Δ	Σ		Δ	Σ
300°C.....	0,1	0,1	700°C.....	30,5	74,3
400°C.....	4,3	4,4	800°C.....	18,9	93,2
500°C.....	13,3	17,7	900°C.....	5,8	99,0
600°C.....	26,1	43,8	1000°C.....	1,0	100,0

Всего до 1000°C выделилось около 7,8% летучих, или более 86% от их содержания в исходном коксе. Основная масса выделившихся летучих была представлена метаном (более 64%), а остальные компоненты распределялись следующим образом, % масс: водород - 19, смолы - более 10, этан и этилен - около 4, кислородсодержащие газы - более 2. При этом выделение основного количества метана (более 80% масс.) наблюдалась при температурах до 700°C, а других углеводородных газов и смол (также порядка 80%) - до 600°C. Поскольку летучие продукты, выделяющиеся из кокса при сравнительно низких температурах, в основном состоят из углеводородов, то, не

подвергая их дальнейшему высокотемпературному воздействию, можно минимизировать отложение на коксе пироуглерода.

Сравнение состава газов, полученных при прокаливании кокса в тонком слое и в прямоточном слоевом процессе (табл.1), показывает существенное возрастание в последнем случае объемного содержания в газе водорода, снижение - метана и появление некоторого количества оксида углерода при примерно 40%-ном увеличении выхода газа. Отсюда можно заключить, что в прямоточном процессе интенсивно протекают высокотемпературные реакции, идущие с увеличением объема (в частности, пиролиз углеводородов и реакция Будуара). В этих же условиях заметное влияние на результаты процесса оказывает влажность кокса. При степени конверсии водяного пара на уровне 60% выход прокаленного кокса на каждый процент увеличения влаги сырья снижался в среднем на 0,43%, причем существенно возрастал удельный выход газа и увеличивалось содержание в нем оксида углерода. Таким образом, глубину протекания гетерогенных реакций, которые интенсифицируются при температурах выше 900°C, можно оценивать по соотношению водород : метан и содержанию оксида углерода в газах прокаливания.

Таблица 1. Результаты прокаливания кокса в различных условиях

Показатели	Прокаливание до 1000°C			
	в тонком слое		в прямоточном процессе	
	при влажности кокса, %			
	0,7	0,7	3	9
Состав газа, % об.:				
водород	69,0	87,9	86,2	79,7
метан	29,2	9,8	7,6	7,1
оксид углерода	следы	2,1	5,5	12,2
диоксид углерода	0,4	0,1	0,4	0,6
прочие	1,4	0,1	0,3	0,4
Выход газа при 20°C, см ³ /г	259	360	404	510
Выход прокаленного кокса на сухое сырье, %	91,3	91,8	90,8	88,2

Наблюдавшийся в лабораторных условиях выход газа существенно выше получаемого в промышленных камерных печах. Это объясняется значительными (составляющими 40-50% и даже более) потерями газа в реальном процессе и, соответственно, меньшей степенью участия в нем водяного пара. Ниже в промышленных условиях и товарный выход кокса из-за есте-

ственных потерь сырья и прокаленного продукта (вследствие уноса мелких фракций, угара, просыпей и др.).

Результаты лабораторных исследований были использованы для построения моделей процесса и оценки на их основе выхода и состава продуктов прокаливания кокса в камерной печи. Моделирование осуществлялось на персональном компьютере с использованием 4-й версии программы ChemCAD и включало несколько этапов, а именно: создание модели лабораторного эксперимента и проверка ее адекватности путем сравнения с экспериментальными данными; модификация уточненной модели в соответствии с условиями промышленного процесса с прямоточным движением газа; разработка на ее основе модели с прямо- и противоточным движением газа в нескольких модификациях, подразумевающих различное соотношение разнонаправленных газовых потоков. В работе подробно описаны принципы построения указанных моделей и приведены их схемы в виде набора так называемых модульных операций, связанных между собой материальными потоками.

При моделировании процесса прокаливания кокса с противотоком газа принималось, что через дополнительный верхний газоотвод удаляется весь водяной пар, образующийся из влаги сырья, а в связи со снижением давления вверху печи общие потери газа уменьшаются примерно на 30%. Расчеты показали, что при изменении объемного отношения верхнего отбора газа к нижнему от 1:1 до 4:1 (т.е. при эвакуации через верхний газоотвод от 50 до 80% об. парогазовых продуктов, образующихся в зонах с температурой ниже 900°C) процесс газообразования в камерной печи характеризуется следующими основными показателями:

	Отношение отборов газа			
	1.1	2.1	3.1	4.1
Общий выход сухого газа, м ³ /т....	243	236	232	230
Содержание в газе, % об.:				
водорода.....	71,1/84,0	73,9/84,9	75,1/85,6	76,5/86,3
метана.....	19,8/4,8	18,3/4,1	17,2/3,4	15,7/2,8
Отношение водород : метан	3,6/17,5	4,0/20,7	4,4/25,2	4,9/30,8

В числителе - для верхнего отбора, в знаменателе - для нижнего

Полученные данные свидетельствуют об интенсивном протекании реакции разложения метана в нижней зоне печи и о незначительном влиянии этого процесса на состав и общий выход газа при наличии в камере верхнего отбора парогазовых продуктов. При такой организации процесса можно

ожидать увеличения выхода продукционного газа и сокращения затрат тепла на эндотермические реакции разложения углеводородов и водяного пара.

3. Разработка технологии прокаливания кокса в камерных печах с измененной схемой отбора парогазовых продуктов

В главе приводятся результаты разработки конструкции верхнего отбора газа из печей и опытно-промышленных исследований процесса прокаливания кокса в камерной печи, оборудованной верхним газоотводом.

Непрерывнодействующие камерные печи (рис.1) представляют собой вертикальные шахты (камеры) из огнеупорного кирпича высотой 10, длиной 4 и шириной в среднем около 0,4 м. Камеры, снабжены загрузочными и выгрузочными устройствами и отделены одна от другой простенками с обогревательными каналами-вертикалами, в которых сжигается отопительный газ. В едином массиве кладки камеры группами по 23 объединены в батареи. Отвод газа из камер осуществляется в нижней их части.

Верхний отбор газа из печи наиболее просто организовать через патрубок в торцевой стене камеры. Такой газоотвод первоначально и был оборудован и испытан в одной из камерных печей. Результаты проведенных опытов показали, однако, невысокую его эффективность, связанную, прежде всего, с небольшой площадью точечного газоотсоса (примерно в 20-25 раз меньшей суммарного сечения нижних газоотводящих окон). Поэтому в ходе последующих работ значительное внимание было уделено созданию новой конструкции верхнего отбора газа, распределенного по длине печи.

Разработанная конструкция выполнена в виде прямоугольных газо-сборных каналов, выкладываемых в огнеупорных перекрытиях обогревательных простенков печей и посредством ряда косых ходов связанных с камерами газоотводящими окнами. Каждый газосборный канал заканчивается собственно газоотводом, через который парогазовая смесь удаляется из камеры в систему охлаждения. Конструкция камерной печи с дополнительным верхним газоотводом является принципиально новой (патент РФ № 2225427). С ее использованием были проведены обширные экспериментальные исследования, позволившие изучить особенности и оценить резервы интенсификации процесса прокаливания кокса при изменении схемы отбора парогазовых продуктов.

В ходе опытно-промышленных испытаний был опробован ряд режимов работы экспериментальной камерной печи, отличавшихся между собой условиями эвакуации парогазовой смеси, качеством исходного сырья, производительностью и температурой обогрева печи. В работе приводятся результаты изучения особенностей работы камеры с отбором газа как через два, так и через один верхний сборный канал без подключения или с одновременным подключением нижнего газоотвода при прокаливании как суммарного, так и мелкого нефтяного кокса, а также их смеси. Было установлено, что стабилизация гидравлического режима и снижение давления в камере

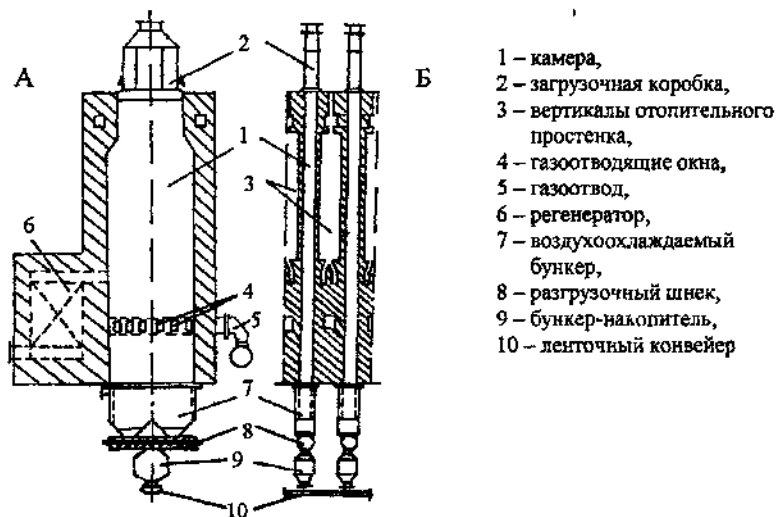


Рис 1 Вертикальная камерная печь

А – разрез по камере, Б – разрез по батарее

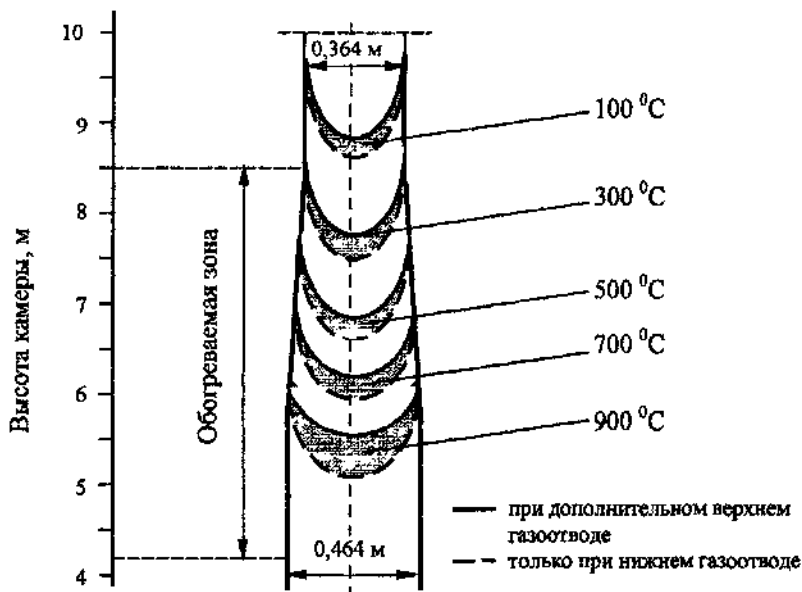


Рис 2 Изотермы в слое кокса в осевой плоскости верхней части камеры

обеспечиваются при одновременной работе верхнего и нижнего газоотводов, причем вверху печи вполне достаточен односторонний отбор газа.

Изучение распределения температур в слое кокса по высоте и ширине камерной печи при разной технологии отбора газа из камеры и анализ построенных по результатам измерений изотерм (рис.2) показали, что организация в печи дополнительного верхнего газоотвода позволяет увеличить скорость нагревания кокса и его температуру по всей высоте камеры. Можно полагать, что это является следствием интенсификации конвективного переноса тепла от греющих стен и периферийных слоев кокса к центру загрузки. Действительно, как показывают выполненные на основании температурных замеров оценки, при наличии противотока парогазовых продуктов коэффициент теплопередачи в средней части камеры возрастает примерно на 18% (с 5,5 до 6,5 Вт/м²град), а коэффициент конвективной теплоотдачи - почти на 30% (с 9,7 до 12,6 Вт/м²град). Таким образом, движущаяся по направлению к верхнему газоотводу парогазовая смесь выполняет в печи функцию внутреннего теплоносителя.

Испытания подтвердили возможность примерно 30%-ного повышения выхода и характер изменения состава продукционного газа при верхнем его отборе. Содержание водорода и метана и их соотношение в газе, отбиравшемся из верхнего газоотвода и из слоя кокса в нижней части печи в зоне максимальных температур, изменялись в разных режимах в следующих пределах:

	Верхний газоотвод	Низ печи
Содержание, % об.:		
водород.....	71,1-76,6	82,9-86,2
метан	12,8-18,3	5,7-6,7
Отношение водород : метан	4,2-5,6	12,6-15,1

Удовлетворительное совпадение опытных и рассчитанных по модели (см. главу 2) данных по выходу и составу продукционного газа свидетельствует об адекватности разработанной модели процесса прокаливания кокса в камерной печи при наличии в ней противотока газа.

В составе удалявшейся через верхний газоотвод парогазовой смеси сохранились смолистые вещества, количество которых в расчете на прокаленный кокс было оценено на уровне 0,4%, что составило примерно половину от их содержания в исходном коксе. Обезвоженная и освобожденная от механических примесей смола характеризовалась следующими средними показателями, свидетельствующими о ее первичном характере:

Плотность при 80°С, г/см ³	1,113
Температура, °С:	
застывания	34
вспышки	130

Элементный состав, %:

углерод.....	89,30
водород.....	6,62
сера.....	1,68

Было также установлено, что при новой технологии отбора газа из печи наблюдается, хотя и небольшое, но стабильное увеличение действительной плотности (на 0,009-0,012 г/см³), пористости (на 0,8-1,8% абс.) и адсорбционной способности (на 0,8-1,2% абс.) прокаленного кокса. Что касается плотности, то рост ее за счет тепловой интенсификации процесса, очевидно, перекрывает снижение, которое должно происходить в связи с уменьшением отложения на коксе пироуглерода. О меньшем же образовании последнего как раз свидетельствует некоторое возрастание пористости кокса и соответствующее увеличение его адсорбционной способности.

Теплотехнические преимущества новой технологии отбора газа из камерных печей позволяют говорить о наличии резервов по производительности или по теплу в печах с верхним газоотводом. С целью оценки этих резервов были проведены исследования, задачей которых являлось установление зависимости между действительной плотностью прокаленного кокса и режимными показателями печей, работающих по новой и старой технологии. В качестве инструмента исследований был выбран метод матричного планирования активного промышленного эксперимента, который проводился одновременно на двух соседних камерных печах, одна из которых была оборудована дополнительным верхним газоотводом, а другая работала в обычном режиме с нижним газоотводом. В обеих камерах прокаливалось одинаковое сырье (кокс Волгоградского НПЗ) при варьировании на двух уровнях температуры обогрева (1250 и 1190°C) и производительности печей (7,86 и 5,57 т/сут). В результате математической обработки экспериментальных данных были получены следующие уравнения регрессии:

для печи с дополнительным верхним газоотводом

$$d_d = 1,5664 + 0,000525t - 0,0216G \quad (1)$$

для печи только с нижним газоотводом

$$d_d = 1,8611 + 0,000286t - 0,0252G \quad (2)$$

где d_d - действительная плотность прокаленного кокса; t - температура обогрева печей, °C; G - производительность печей, т/сут; 0,000525, 0,000286 и 0,0216, 0,0252 - изменения плотности на единицу изменения соответственно / и G .

Анализ полученных уравнений показал, что организация дополнительного верхнего отбора газа позволяет при производстве одинакового по плотности прокаленного кокса либо повысить на 7-16% (в зависимости от режима) производительность печей, либо - при неизменной их производительности - соответственно снизить затраты тепла на процесс, т.е. уменьшить расход отопительного газа.

4. Опытнo-промышленные исследования технологии газового охлаждения прокаленного кокса в нижней зоне печей

Кокс, прокаленный в камерной печи, поступает в бункер шнекового коксоохлаждающего выгрузочного устройства (11ЖВУ) с температурой, которая в зависимости от производительности печи составляет от -650 до ~900°C. Единственным применяемым в настоящее время способом охлаждения кокса является малоэффективный обдув корпуса ШКВУ воздухом.

В данной работе изучались возможности интенсификации процесса охлаждения прокаленного кокса путем его прямого контактирования с газом или паром, подаваемым в нижнюю зону печей. Соответствующие экспериментальные исследования проводились при работе печей только с нижним газоотводом и включали конструктивную проработку и испытания на отдельных камерах различных вариантов подачи и распределения в слое кокса охлаждающих агентов. В качестве последних использовались применяемый в процессе отопительный газ и отработанный водяной пар давлением 6 кг/см². При этом были опробованы следующие варианты их подачи в камеру: 1 - через канал с распределительными окнами, выложенный прямо напротив нижнего газосборного канала; 2 - через такой же канал, выложенный на 0,9 м ниже газосборного канала; 3 - через корнюрный (круглого сечения) канал с распределительными окнами.

Сравнение различных вариантов газового охлаждения кокса (табл.2) свидетельствует о преимуществах применения в качестве охлаждающего агента водяного пара в варианте его подачи в печь через корнюрный канал. Данная конструкция позволяет равномерно рассредоточить пар по длине камеры и при сохранении достаточного давления обеспечить его прохождение через всю толщу слоя кокса.

Таблица 2. Сравнительная эффективность вариантов газового охлаждения кокса в камерных печах

Показатели	Охлаждение по вариантам			
	1	2	3	
	отопительным газом		водяным паром	
Производительность камеры по прокаленному коксу, кг/ч	220	280	280	300
Температура обогрева печей, °С	1260	1268	1260	1264
Расход охлаждающего агента, м ³ /кг	0,545	0,607	0,400	0,410
Снижение температуры кокса вверху бункера ШКВУ, град	120	200	245	305
Передача тепла от кокса к охлаждающему агенту, кДж/м ³ *	359	537	998	1213

* При удельной теплоемкости кокса $C_p = 1,63$ кДж/кг·град.

Было также установлено, что "паровая завеса" между источником разрежения (батареиным барильетом) и ШКВУ надежно защищает от подсосов в него воздуха и возгораний кокса даже при разрежении в барильете на уровне 7-9 мм вод.ст. В свою очередь, при создании разрежения в барильете снижались потери продукционного газа. Выход его при подаче пара вниз печи возрастал примерно на 35%, в том числе, по-видимому, и за счет дополнительного газообразования в результате эндотермического взаимодействия пара с углеродом кокса. Исходя из общего прироста объема газа и содержания в нем оксида углерода, количество газифицируемого углерода может быть оценено на уровне 0,7%. Эта величина соизмерима с количеством пироуглерода, отлагающегося на поверхности кокса в процессе его прокаливания с нижним отбором парогазовых продуктов.

При подаче пара в камеру несколько снижалась плотность кокса (на 0,012-0,013 г/см³) при возрастании его пористости (на 1,4-2,4% абс.) и адсорбционной способности (на 1,2-1,4%). Такие изменения в качестве кокса, по-видимому, являлись прямым следствием удаления с его поверхности высокоплотного пироуглерода и в связи с этим раскрытия и расширения устьев пор и трещин на поверхности коксовых частиц.

Интенсификация охлаждения прокаленного кокса при контактировании его с паром создает возможности интенсификации процесса прокаливания в целом. Такой вывод можно сделать на основании следующих данных, иллюстрирующих зависимость температуры в верхней части ШКВУ от производительности печей:

Производительность, т/сут	5,4	6,0	6,6	7,8	8,1
Температура в ШКТВУ, °С:					
без подачи пара	655	730	810	840	870
с подачей пара	415	460	495	530	540

В исследованном диапазоне производительностей максимальная температура в ШКВУ при подаче в печь пара составляла всего 540°С. При работе выгрузочного оборудования в таких относительно мягких условиях в значительной мере исключается разрушение металла и, следовательно, обеспечивается большая сохранность оборудования и меньшее загрязнение кокса железом, что является одним из важных условий улучшения его качества. С учетом указанных соображений потенциальные возможности увеличения производительности камерных печей при организации парового охлаждения прокаленного кокса можно оценить на уровне, как минимум, 30-35%.

5. Промышленная реализация усовершенствованной технологии прокаливания кокса на батареях печей

Предложенные в работе новые технологические решения в части органи-

зации в камерных печах верхнего отбора парогазовых продуктов были внедрены в промышленное производство в ОАО "Завод "Сланцы" в масштабе батареи печей. Эта батарея (№4), все печи которой были оборудованы дополнительными верхними газоотводами, была сдана в эксплуатацию в конце 2002 г. В период ее освоения были проведены комплексные исследования с целью изучения влияния верхнего отбора газа на эксплуатационные показатели печей в промышленных условиях.

В ходе исследований задавался ряд режимов работы батареи с варьированием на двух уровнях температуры обогрева (1190 и 1250°С) и производительности камер по прокаленному коксу (3,48 и 5,22 т/сут). При этом показатели процесса определялись как в условиях одновременного верхнего и нижнего отбора газа из камер, так и, для сравнения, только при нижнем отборе газа. Соответственно было исследовано по 4 режима (продолжительностью не менее 7 суток каждый) с отбором газа из печей по новой и старой технологии. В период проведения работ на прокаливание поступали нефтяные коксы 5-ти отечественных и зарубежных поставщиков. На загрузку в печи после шихтовки подавалось типичное для завода "Сланцы" сырье с влажностью от 8 до 10%, выходом летучих от 9,3 до 11,6% и содержанием фракции ниже 8 мм от 45 до 71%.

На всех режимах при наличии верхнего отбора газа давление как сверху, так и внизу камер было ниже, чем при работе печей только с нижними газоотводами. Кроме того, за счет верхнего отбора значительно снижалась загазованность на загрузочном мосту и площадках вертикалов и уменьшалась концентрация вредных веществ (СО и H₂S) в указанных зонах обслуживания верха печей (рис.3).

Выход газа верхнего отбора в исследованных режимах работы батареи составлял в расчете на прокаленный кокс от 155 до 181 м³/т и в среднем оказался приблизительно таким же, как и в опытах на одной камере. Однако в составе газа, отбиравшегося из нижней части камер реконструированной батареи, определялось повышенное содержание азота, в особенности при одновременной работе верхних и нижних газоотводов, что являлось следствием подсосов воздуха в ШКВУ. Ликвидировать такие подсосы можно, организовав подачу в нижнюю часть камер определенного объема газа (или пара) с эвакуацией его через газоотводящие окна. Этот прием органично вписывается в новую технологию и, как отмечалось выше (см. главу 4), позволяет, наряду с эффективным охлаждением прокаленного кокса, избежать подсосов воздуха в ШКВУ даже при работе нижнего барильета под разрежением.

Следует отметить, что, несмотря на повышенное содержание балластных компонентов, теплота сгорания суммарного газа, получавшегося в печах с дополнительным верхним отбором (при значениях 12,9-13,7 МДж/м³ для газа из верхнего газоотвода и 8,1-8,9 МДж/м³ - из нижнего) превышала таковую при работе только с нижним газоотводом (10-10,3 МДж/м³). При соотношении газов верхнего и нижнего отборов, примерно равном 2:1, уве-

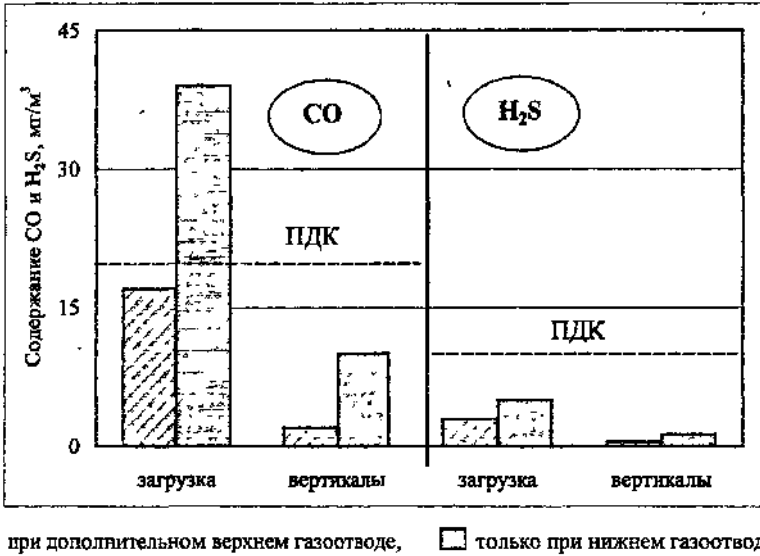


Рис. 3 Содержание вредных веществ в воздухе зон обслуживания печей

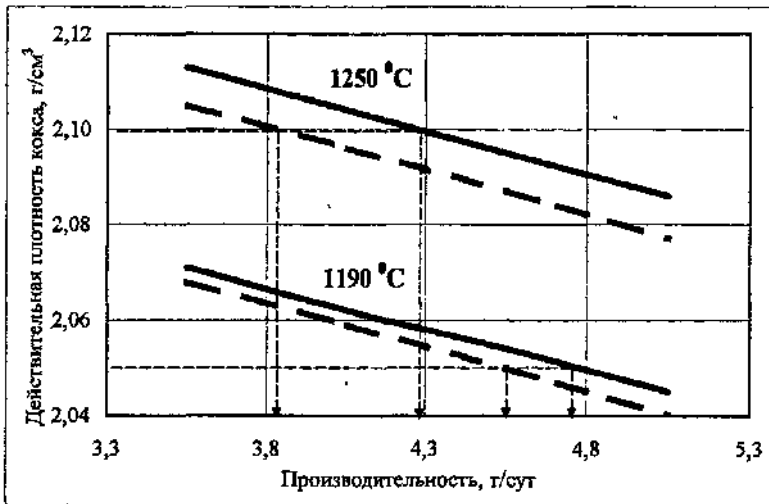


Рис. 4 Взаимосвязь между режимными параметрами процесса и плотностью кокса при разной технологии отбора газа из печей

личение теплоты сгорания суммарного газа составило по новой технологии в среднем около 15%.

Статистическая обработка результатов исследований показала наличие в печах реконструированной батареи, хотя и меньшего, чем в отдельной камере, но по уровню все же близкого к ней резерва производительности (или тепла) при переходе к новой технологии. В рамках исследованных режимов этот резерв составляет от 5 до 12% (рис.4) и в среднем может быть оценен на уровне 7,5%. Соответствующая экономия тепла составляет около 250 МДж на 1 т прокаленного кокса. За счет этой экономии и увеличения удельного выхода продукционного газа достигается экономический эффект, который по результатам эксплуатации реконструированной батареи в 2003-2004 г.г. составил 1,15 млн.руб.

В процессе более чем двухлетней эксплуатации батареи существенно облегчилось обслуживание печей. В частности, практически отпала необходимость в чистке камер и газоотводов (как верхних, так и нижних). В связи со значительным сокращением вредных выбросов улучшились экологические показатели производства и условия труда обслуживающего персонала печей.

Таким образом, результаты выполненных исследований и опыт их промышленного внедрения подтвердили правильность выбранных в данной работе направлений совершенствования и интенсификации процесса прокаливания нефтяного кокса в камерных печах. Они позволяют рекомендовать перевод на новую технологию остальных батарей ОАО "Завод "Сланцы" и определяют целесообразность, кроме того, организации подачи пара в нижнюю часть печей для предотвращения подсосов воздуха в эту зону и дополнительного охлаждения прокаленного кокса.

Выводы

1. На основании проведенных в данной работе исследований выявлены возможности и направления интенсификации процесса прокаливания нефтяного кокса в камерных печах за счет рациональной организации парогазовых потоков в слое кокса, разработана и внедрена в промышленное производство усовершенствованная технология прокаливания кокса в печах с измененной схемой распределения и отбора парогазовых продуктов.
2. Лабораторными исследованиями показано, что в условиях слоевого прокаливания кокса состав и объем продукционных газов определяются глубиной протекания вторичных гетерогенных процессов с участием углерода кокса, углеводородных газов и водяного пара. Критериями степени конверсии парогазовых продуктов в данном процессе являются соотношение водород : метан и количество оксида углерода в газах прокаливания. Установлено, что при отборе газа из зоны температур более 900°С

выход прокаленного кокса снижается в среднем на 0,43% на каждый процент увеличения влажности сырья.

3. Компьютерное моделирование процесса показало, что организация в камерной печи, наряду с прямоточным, также и противоточного по отношению к коксу движения газа позволяет отбирать через верхний газоотвод до 80% парогазовых продуктов, не подвергая их заметным высокотемпературным превращениям. Разработанные модели позволяют прогнозировать состав и выход газов при изменении внешних технологических факторов процесса.
4. Опытно-промышленные исследования процесса прокаливания кокса в печи оригинальной конструкции с дополнительным распределенным по длине камеры верхним отбором парогазовых продуктов показали, что такая организация процесса приводит к относительному увеличению действительной плотности, пористости и адсорбционной способности кокса. Подобный характер изменения показателей качества кокса, очевидно, связан как с тепловой интенсификацией процесса прокаливания при противоточном движении газа, выполняющего в печи функцию внутреннего теплоносителя, так и с уменьшением отложения пироуглерода на коксе.
5. В результате опытно-промышленных и последующих промышленных исследований на реконструированной батарее камерных печей установлено, что организация в печах дополнительного верхнего отбора парогазовой смеси позволяет.
 - при производстве одинакового по плотности прокаленного кокса повысить в среднем на 7,5% производительность печей или соответственно снизить расход отопительного газа;
 - снизить давление в верхней части печей и в связи с этим сократить вредные выбросы в зоны обслуживания печей, а также уменьшить потери газа примерно на 30%;
 - повысить теплоту сгорания продукционного газа в среднем на 15%.
6. Дополнительные возможности интенсификации процесса открывает организация в нижней зоне печей газового или парового охлаждения прокаленного кокса. Опытно-промышленные исследования на группе печей показали, что замена малоэффективного наружного охлаждения выгрузочных устройств печей внутренним охлаждением кокса водяным паром создает возможность повышения производительности печей на 30-35%.
7. В результате внедрения технологии прокаливания кокса с измененной схемой отбора парогазовых продуктов на батарее печей экономический эффект за период 2003-2004 г.г. составил 1,15 млн.руб. (в ценах на

01.01.05). Опыт эксплуатации реконструированной батареи позволяет рекомендовать перевод на новую технологию остальных батарей камерных печей ОАО "Завод "Сланцы". В ходе их последовательной реконструкции целесообразно, наряду с верхним отбором парогазовых продуктов, организовать подачу пара в нижнюю часть печей для ликвидации подсосов воздуха в эту зону и дополнительного охлаждения прокаленного кокса.

Публикации по теме диссертации

1. Вишнев В.Г., Боровиков Г.И., Качан Д.М. Опыт производства прокаленного нефтяного кокса для нужд электродной промышленности // Современные проблемы производства и эксплуатации электродной продукции: Сб. научн. трудов. - Челябинск: "Библиотека А.Миллера", 2000. - С.60.
2. Состояние и перспективы производства кокса на заводе "Сланцы" / В.Г.Вишнев, Г.И.Боровиков, Д.М.Качан, А.А.Буйвич // Сб. докл. межотрасл. конф. "Нефтеперерабатывающая и алюминиевая промышленности - развитие сотрудничества, оптимизация связей по поставкам нефтяного кокса", 27-29 марта 2001 г. - Красноярск, 2001. - С.39-43.
3. Состояние и перспективы производства прокаленного нефтяного кокса в ОАО "Завод "Сланцы" / ВТ.Вишнев, Г.И.Боровиков, Д.М.Качан, А.А.Буйвич // Нефтепереработка и нефтехимия. - 2002. - № 10. - СЛ2-16.
4. Пат. 2225427 РФ, МКИ 7 С 10 В 1/04. Вертикальная камерная печь для термообработки твердого топлива / Г.И.Боровиков, Ю.И.Белянин, В.Г.Вишнев, Д.М.Качан, Л.Н.Шипук, Н.А.Грибова (РФ). - № 200210565/15; Заявл. 26.02.02; Оpubл. 10.03.04, Бюл. № 7. - С.715.

13 ИЮЛ 2005

