

Харлашин П.С., Гуляев В.М.,
Барский В.Д., Гладкий В.Н.

ВОПРОСЫ СОВРЕМЕННОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

Том III

Под общей редакцией проф. П.С. Харлашина

В 448

УДК 669.18:546.19(073)

Вопросы современной металлургии /Монография Том III/ Харлашин П.С., Гуляев В.М., Барский В.Д., Гладкий В.Н. ГВУЗ «ПГТУ» – 2013 г. - 740 с.

Монография посвящена обобщению полученных авторами исследований по физико-химическим свойствам металлургических расплавов, а также по физико-химической природе реакционной способности и прочности кокса. При этом особое внимание уделено развитию фундаментальных научных разработок.

С целью дальнейшего прогресса металлургического производства и его теоретических основ, тесно связанных с получением более точных и глубоких сведений, выполнены комплексные исследования по поверхностным, вязкостным и диффузионным свойствам разнообразных металлургических и оксидных систем. Представлены новые методики и устройства для определения этих свойств металлургических расплавов, обеспечивающих повышение точности экспериментов.

Особое внимание уделено методу Nippon Steel Corporation (NSC) как модели поведения кокса в доменном процессе и изучению на этой основе роли и места углерода кокса в ходе доменной плавки. Разработаны новые методы исследования, способы оптимизации стабилизации реакционной способности и прочности кокса.

Книга предназначена для научных и инженерно-технических работников металлургического и литейного производств. Может быть полезна студентам и аспирантам вузов соответствующих специальностей.

Таб. 197 Илл. 390 Библиогр. 759 назв.

Рецензенты:

Бойченко Б.М. – зав. кафедрой «Металлургия стали» Национальной металлургической академии Украины, доктор технических наук, профессор, заслуженный работник образования Украины;

Чернега Д.Ф. – член-корр. Национальной академии наук Украины, зав. кафедрой «Физико-химические основы технологии металлов» Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт», доктор технических наук, профессор;

Капустин А.Е. – зав. кафедрой «Химическая технология и инженерия» ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет»; доктор химических наук, профессор;

Старовойт А.Г. – доктор технических наук, профессор; заслуженный металлург Украины Генеральный директор УНПА «Укркокс»;

Ильяшов М.А. – доктор технических наук, профессор, лауреат Государственной премии Украины в области науки и техники, первый заместитель генерального директора ЗА «Донецксталь – металлургический завод»;

Стефаник Ю.В. – доктор технических наук, профессор, заведующий отделом проблемы геотехнологии горючих ископаемых Института геологии и геотехнологии горючих ископаемых НАН Украины.

Рекомендовано к печати Ученым советом Государственного высшего учебного заведения «Приазовский государственный технический университет» протокол № 4 от 21.11.2013 г.

ISBN 978-966-175-069-1

© Харлашин П.С., Гуляев В.М.,
Барский В.Д., Гладкий В.Н.
2013

571508



ПРЕДИСЛОВИЕ

Совершенствование и создание новых металлургических процессов обуславливают повышенные требования к уровню теоретических знаний, необходимость улучшения использования научного потенциала, существенного расширения объёма проводимых научных исследований и разработок, а также повышения эффективности их практического применения.

Настоящая книга посвящена изучению физико-химической природы металлургических процессов. В работе приведены результаты собственных лабораторных и полупромышленных исследований авторов, обобщены многочисленные данные, приведенные в периодической литературе, а также общий анализ имеющихся сведений на основе современных физико-химических представлений.

Физическая химия является тем прочным фундаментом, на котором зиждется современная теория металлургических процессов. Активными участниками металлургических процессов являются металлические и оксидные расплавы, поэтому изучению и практическому использованию их свойств при анализе различных металлургических процессов посвящено огромное количество работ экспериментального и теоретического характера. Однако, они далеко не полностью изучены, много противоречивых суждений. Без надёжных экспериментальных данных о свойствах металлургических расплавов развитие этой науки было бы невозможно. Но не менее важными являются работы по теоретическому обобщению, которые проводятся путём построения математических моделей авторами исследований по физико-химическим свойствам металлургических расплавов, а также по физико-химической природе реакционной способности и прочности кокса. При этом особое внимание обращено на развитие фундаментальных научных разработок. Наука о металлах и способах их получения не во всех своих частях достигла одинакового прогресса. Об этом свидетельствуют и сравнительная немногочисленность экспериментальных данных по физико-химическим свойствам металлургических расплавов, и недостаточность точных опытных исследований и, наконец, простота изложения этих, в сущности, весьма сложных процессов. Возможно ли такое положение считать естественным? Не следует ли здесь идти путём большего привлечения теории к практике с тем, чтобы подготовить почву новым промышленным успехам?

В восьмой части монографии авторы сделали попытку восполнить пробел с целью прогресса металлургического производства и его теоретических основ, тесно связанных с получением более точных и глубоких сведений по поверхностным, вязкостным, диффузионным свойствам разнообразных металлических и оксидных систем. Такие данные могут быть

получены лишь в результате новых исследований на уровне современной техники физико-химического эксперимента.

Анализ показывает, что большинство известных устройств для исследования физико-химических свойств металлургических расплавов далеко от совершенства, имеет невысокие метрологические характеристики. К тому же у исследователя, поставившего перед собой конкретную задачу, не всегда хватает времени, сил и знаний, чтобы разобраться во всех тонкостях высокотемпературного эксперимента, усовершенствовать их методику с учётом специфики природы расплавов. В результате между опубликованными данными имеются большие расхождения. Практические рекомендации по осуществлению методики и созданию экспериментальных устройств для определения плотности поверхностного натяжения, краевого угла смачивания и межфазного натяжения металлических расплавов на границе с оксидными расплавами и твердыми фазами для исследования диффузионных процессов в расплавах и вибрационного метода при повышенных температурах рассеяны по различным, зачастую редким или труднодоступным изданиям и диссертациям. Но и они не отражают современного уровня, содержат ряд ошибочных выводов. Кроме того, сама проблема поверхностных, диффузионных явлений и по вязкостным свойствам металлургических расплавов в целом в литературе затронута лишь частично.

Всё вышеизложенное указывает на актуальность освещения в рамках отдельной монографии широкого круга вопросов, связанных с реализацией физико-химических методов экспериментального исследования металлургических расплавов.

Перед читателями одна из таких книг, являющаяся итогом многолетнего опыта авторов в вопросах методологии высокотемпературного эксперимента по исследованию физико-химических свойств металлургических расплавов.

В девятой части монографии представлено исследование физико-химической природы реакционной способности и прочности кокса. Исследованы методы оптимизации и стабилизации этих показателей исходя из возможностей сырьевой базы коксования, режимных факторов технологического процесса слоевого коксования, воздействия на свойства коксующей угольной загрузки путем измельчения, смешения, уплотнения, добавления побочных продуктов коксохимического и других производств, внепечных механических воздействий на кокс. Особое внимание уделено методу Nippon Steel Corporation (NSC) как модели поведения кокса в доменном процессе и изучению на этой основе роли и места углерода кокса в ходе доменной плавки. Разработаны новые методы исследования и определения основных показателей качества доменного кокса, способы оптимизации и стабилизации реакционной способности и прочности кокса.

При этом, однако, отсутствуют в достаточной мере научно обоснованные представления о динамике поведения кокса в ходе доменной плавки и о физико-химической природе традиционных и новых показателей его свойств, необходимых для направленного поиска методов дальнейшей оптимизации его качества.

В связи с этим рассматриваются:

- мольный состав традиционного варианта доменной загрузки как основы химической схемы доменного процесса, термодинамический анализ этой химической схемы (оценка вероятности протекания реакций, их энергетические характеристики, константы равновесия, равновесные степени превращения);
- кинетика конверсии углерода в реакциях, протекающих в доменном процессе и в методе NSC, как “модели” этого процесса;
- связь РСК с показателями химической структуры органической массы углей (ОМУ);
- связь РСК с содержанием и составом золы угольной шихты;
- влияние состава шихты (характерного для Украины строя) на показатели “горячей” и “холодной” прочности кокса, на его гранулометрический состав и реакционную способность;
- методы улучшения и стабилизации качества кокса путем его самопроизвольной и принудительной механической обработки, как стадий процесса производства;
- методы измельчения и смешения компонентов угольной шихты, улучшающие качество кокса;
- уплотнение коксуемых шихт и применение спекающих добавок как факторов воздействия на качество кокса;
- применение побочных продуктов коксохимического производства для улучшения качества кокса.

Часть восьмая написана П.С.Харлашиным, В.Н.Гладким, часть девятая – В.М.Гуляевым, В.Д.Барским.

В данной работе делается попытка осветить основные элементы теории формирования реакционной способности и прочности кокса, методов их оптимизации и стабилизации во времени.

Авторы выражают искреннюю благодарность рецензентам за ценные замечания и рекомендации, которые были учтены нами при подготовке книги к изданию.

СОДЕРЖАНИЕ

	стр.
Предисловие	3
Часть VIII ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ (проблемы, теория, методика и результаты экспериментальных исследований) ...	5
Глава 8.1 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ СВОЙСТВ РАСПЛАВОВ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ	7
8.1.1 Основные данные.....	7
8.1.2 Содержание работы	11
8.1.2.1 Экспериментальная часть	11
8.1.2.2 Методика проведения работы	11
8.1.3 Расчетная часть	13
8.1.3.1 Определение коэффициента увеличения	13
8.1.3.2 Определение плотности железо - углеродистого расплава ...	13
8.1.3.3 Методика расчета поверхностного натяжения расплавов...	14
8.1.4 Обработка экспериментальных данных	15
Глава 8.2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРАЕВОГО УГЛА СМАЧИВАНИЯ ТВЕРДОЙ ФАЗЫ РАСПЛАВО	16
8.2.1 Основные положения	16
8.2.2 Расчет работы адгезии на границе расплава с твердой фазой.	23
8.2.3 Межфазные свойства расплавов на границе металл-шлак.....	24
8.2.3.1 Способ определения межфазной энергии на границе раздела системы металл – шлак.....	24
8.2.3.2 Способ определения краевого угла смачивания металлургических расплавов	25
8.2.3.3 Экспериментальные данные зависимости межфазной энергии от содержания мышьяка в металлическом расплаве на границе с оксидом алюминия	27
8.2.3.4 Исследование поверхностных явлений на границе жидких ферромышьяковистых расплавов с твердыми сплавами бинарной системы $Al_2O_3-SiO_2$	29
8.2.3.5 Комплексное определение поверхностных и межфазных свойств расплавов.....	31
8.2.4 Адсорбция	39
8.2.4.1 Общие сведения по теории адсорбции	39
8.2.4.2 Основные положения	39
8.2.4.3 Адсорбционные процессы металлургических систем.....	48
8.2.5 Плотность и поверхностные свойства железомышьяковистых расплавов	51
8.2.5.1 Температурная зависимость свободной поверхностной энергии и плотности расплавов Fe – As	56

8.2.5.2	<i>Зависимость поверхностных свойств и плотности расплавов системы Fe-As-C от содержания в них компонентов</i>	62
8.2.5.3	<i>Влияние основных металлургических примесей на поверхностные свойства и плотность мышьяк содержащих железоуглеродистых расплавов</i>	67
	Список использованной литературы	97
Глава 8.3	ДИФФУЗИЯ ЭЛЕМЕНТОВ В ЖИДКОМ ЖЕЛЕЗЕ	105
8.3.1	Способ и установка для определения диффузионных характеристик	105
8.3.2	Экспериментальные исследования процесса диффузии мышьяка	108
8.3.3	Определение диффузии элементов в жидком железе другими методами	112
	Список использованной литературы	115
Глава 8.4	ПОВЕДЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ В УСЛОВИЯХ ОКИСЛИТЕЛЬНОЙ ПЛАВКИ	116
8.4.1	Поведение мышьяка в условиях окислительной плавки	116
8.4.2	К вопросу об окисляемости элементов в сталеплавильной ванне	116
8.4.3	Обобщение результатов исследования поведения элемента при кислородном рафинировании сталеплавильной ванны ...	125
8.4.4	О критических концентрациях элементов - примесей металлической ванны	131
8.4.5	Обобщение результатов исследования поведения мышьяка при кислородном рафинировании сталеплавильной ванны	138
	Список использованной литературы	142
Глава 8.5	МЕТОДЫ, РЕЗУЛЬТАТЫ И ПРОБЛЕМЫ ВИСКОЗИМЕТРИИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ РАСПЛАВОВ	144
8.5.1	Сущность явления вязкости жидкости и вискозиметрия	144
8.5.2	Трудности и методы вискозиметрии металлургических расплавов	146
8.5.3	Зависимость вязкости от температуры	153
8.5.4	Аномалии на кривых вязкость-температура металлических расплавов и их трактовка	155
8.5.5	Противоречивость данных по вязкости шлаковых расплавов	156
8.5.6	Аномалии течения и температурной зависимости вязкости шлаковых расплавов	157
8.5.7	Постановка задачи дальнейшего развития вискозиметрии металлургических расплавов	160
Глава 8.6	ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ВИБРАЦИОННОЙ ВИСКОЗИМЕТРИИ	162

8.6.1	Решение гидродинамических задач, краевые условия	162
8.6.2	Физическая модель вибрационного вискозиметра и ее математическое описание	166
8.6.3	Характеристики колебательной системы. Терминология	168
8.6.4	Анализ вариантов метода вибрационной вискозиметрии	170
Глава 8.7	ВИБРАЦИОННЫЕ ВИСКОЗИМЕТРЫ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА ТЕОРИИ МЕТОДА.	178
8.7.1	Требования к конструкции вибрационного вискозиметра	178
8.7.2	Возбуждающие и регистрирующие преобразователи	178
8.7.3	Упругие элементы и способы их крепления	182
8.7.4	О рациональной конструкции вибрационного устройства	185
8.7.5	Экспериментальная проверка теории вибрационного метода ..	189
Глава 8.8	АППАРАТУРНОЕ ОФОРМЛЕНИЕ И МЕТОДИКА ВИБРОТЕРМОГРАФИИ РАСПЛАВОВ	194
8.8.1	Принципы создания высокотемпературной установки для исследования вязкости расплавов	194
8.8.2	Высокотемпературный вибрационный вискозиметр-термограф и системы его обеспечения	195
8.8.3	Элементы методики вискозиметрии [89]	199
8.8.4	Особенности методики безэталоной дифференциальной термографии [91]	201
8.8.5	Метод синхронной вибротермографии [94]	203
8.8.6	Автоматизация измерений	205
Глава 8.9	ИЗУЧЕНИЕ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ РАСПЛАВОВ ВИБРОТЕРМОГРАФИЧЕСКИМ МЕТОДОМ	207
8.9.1	Некоторые модельные и промышленные синтетические шлаки	207
8.9.2	Плавкостные и вязкостные свойства систем на основе фторида кальция	211
8.9.3	Легкоплавкие металлы и сплавы	222
8.9.4	Системы на основе железа	224
8.9.5	Реологический подход к изучению течения металлургических расплавов	226
8.9.6	Исследование вязкостно-плавкостных свойств шлакообразующих смесей, применяемых на ОАО МК «Азовсталь» для непрерывной разливки стали, с целью оптимизации их составов	232
Глава 8.10	ИССЛЕДОВАНИЕ ВЯЗКОСТИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ РАСПЛАВОВ	238
8.10.1	Общие положения	238
8.10.2	Измерение вязкости расплавленных металлов методом крутильных колебаний	239
	Список использованной литературы	244

Глава 8.11	ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ДАВЛЕНИЯ НАСЫЩЕННОГО ПАРА ЖИДКИХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ	254
8.11.1	Строение и свойства жидкого металла, содержащего мышьяк	259
8.11.2	Термодинамические характеристики мышьяка в расплавах на основе железа.....	260
8.11.2.1	<i>Методика исследования</i>	260
8.11.2.2	<i>Результаты экспериментов и их обсуждение</i>	262
	Список использованной литературы	267
Глава 8.12	ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В МЕТАЛЛУРГИИ СТАЛИ	269
Глава 8.13	ТЕРМОДИНАМИКА И КИНЕТИКА ИСПАРЕНИЯ МЫШЬЯКА ПРИ ВАКУУМИРОВАНИИ	279
8.13.1	Определение минимальной концентрации мышьяка в металле при вакуумировании	279
8.13.2	Кинетика испарения мышьяка при вакуумировании ферромышьяковистых расплавов	282
8.13.3	Удаление мышьяка, серы и фосфора из чугуна при его вакуумировании	286
	Список использованной литературы	292
Часть IX	РЕАКЦИОННАЯ СПОСОБНОСТЬ И ПРОЧНОСТЬ КОКСА (физико-химическая природа, методы оптимизации и стабилизации).....	293
Глава 9.1	СОВРЕМЕННЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ПОКАЗАТЕЛЯМ КАЧЕСТВА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОКСА И ВОЗМОЖНЫЕ ПУТИ ИХ ДОСТИЖЕНИЯ	295
9.1.1	Роль кокса в доменном процессе и требования к его качеству	295
9.1.2	Возможности угольной сырьевой базы коксования в Украине	309
9.1.3	Технологические возможности получения кокса с заданными свойствами	310
9.1.4	Внепечное формирование физико-механических свойств кокса как направление развития технологии его производства	315
	Заключение	316
	СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ К ГЛАВЕ 1	317
Глава 9.2	МЕТОДИЧЕСКАЯ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ БАЗЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	327
9.2.1	Методическая база исследования.....	327
9.2.1.1	<i>Аналитические методики для оценки свойств углей, шихт и кокса</i>	327
9.2.1.2	<i>Алгоритм термодинамического расчета.....</i>	338
9.2.1.3	<i>Методы оценки параметров математических моделей.....</i>	347
9.2.2	Экспериментальная база исследования	354

	Заключение	365
	СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ К ГЛАВЕ 2.....	365
Глава 9.3	О ПОКАЗАТЕЛЯХ СВОЙСТВ УГЛЕЙ КАК ФАКТОРАХ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ КАЧЕСТВО ШИХТЫ И КОКСА	372
9.3.1	Постановка задачи	372
9.3.2	Аддитивность и усреднение свойств	376
9.3.3	Механизм формирования индекса вязкости пластической массы.....	382
9.3.4	Индекс вспучивания	392
9.3.5	Толщина пластического слоя	395
9.3.6	Пластометрическая усадка.....	400
9.3.7	Выход продуктов пиролиза в центробежном поле	402
9.3.8	Теоретическая модель для прогноза остатка кокса в барабане	405
9.3.9	Экспериментальные оценки коэффициентов уравнения для прогноза остатка кокса в барабане	408
	Заключение	412
	СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ К ГЛАВЕ 3.....	413
Глава 9.4	ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ХИМИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ДОМЕННОГО ПРОЦЕССА	415
9.4.1	Состав смеси исходных реагентов	415
9.4.2	Химическая схема доменного процесса	422
9.4.3	Термодинамическая оценка химической схемы процесса	423
9.4.3.1	<i>Оценка вероятностей протекания реакций</i>	<i>423</i>
9.4.3.2	<i>Энергетическая характеристика реакций.....</i>	<i>425</i>
9.4.3.3	<i>Равновесная степень превращения углерода и его оксидов.....</i>	<i>428</i>
9.4.4	Реализация химической схемы при условии полного восстановления оксидов железа (формальная кинетика).....	431
9.4.4.1	<i>Расход кислорода</i>	<i>431</i>
9.4.4.2	<i>Расход углерода.....</i>	<i>432</i>
9.4.4.3	<i>Образование и расход оксида углерода</i>	<i>434</i>
9.4.4.4	<i>Образование и расход диоксида углерода.....</i>	<i>435</i>
9.4.4.5	<i>Численная оценка полноты превращения исходных и промежуточных веществ</i>	<i>436</i>
9.4.4.6	<i>Об альтернативных схемах восстановления оксидов железа</i>	<i>447</i>
9.4.4.7	<i>Суммарный тепловой эффект химических реакций</i>	<i>449</i>
	Заключение	451
	СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ К ГЛАВЕ 4.....	452
Глава 9.5	ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ КИНЕТИКИ КОНВЕРСИИ УГЛЕРОДА В ДОМЕННОМ ПРОЦЕССЕ И В МЕТОДЕ NSC	454
9.5.1	Кинетическая модель доменного процесса.....	454
9.5.1.1	<i>Особенности системы и взаимообусловленность реакций.....</i>	<i>454</i>
9.5.1.2	<i>Скорость реакций и направление движения фаз</i>	<i>455</i>

9.5.1.3	<i>Скорость неизотермического процесса (фактическая кинетика). Структура модели.....</i>	458
9.5.2	О механизме и закономерностях процессов, лежащих в основе метода NSC.....	468
9.5.2.1	<i>Общие положения</i>	468
9.5.2.2	<i>Зависимость между показателями CRI и CSR.....</i>	469
9.5.2.3	<i>О кинетических моделях процесса газификации кокса.....</i>	479
9.5.2.4	<i>О механизме стадии разрушения кокса</i>	482
9.5.2.5	<i>Лимитирующая стадия процесса газификации кокса</i>	485
	Заключение	492
	СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ К ГЛАВЕ 5.....	494
Глава 9.6	ГРУППОВОЙ ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ УГЛЕЙ И ШИХТ И РЕАКЦИОННАЯ СПОСОБНОСТЬ КОКСА	497
9.6.1	Формирование массива экспериментальных данных.....	497
9.6.2	Зависимость показателей CRI и CSR от группового химического состава угольной шихты.....	505
9.6.3	Зависимость показателей свойств угольной шихты от ее группового химического состава	508
9.6.4	Зависимость параметров фазового состава продуктов пиролиза ОМУ от параметра η	512
9.6.5	О механизме формирования фазового состава первичных продуктов пиролиза ОМУ.....	522
	Заключение	528
	СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ К ГЛАВЕ 6.....	529
Глава 9.7	СОДЕРЖАНИЕ И СОСТАВ ЗОЛЫ УГОЛЬНЫХ ШИХТ И РЕАКЦИОННАЯ СПОСОБНОСТЬ КОКСА	530
9.7.1	Общие положения	530
9.7.2	О взаимосвязи зольности углей и кокса	532
9.7.3	Реакционная способность коксов как функция общей зольности углей и температуры реакции газификации.....	538
9.7.4	О взаимосвязи состава золы углей, их свойств и РСК	546
9.7.5	Реакционная способность и прочность кокса из шихт одинаковой зольности	554
	Заключение	561
	СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ К ГЛАВЕ 7.....	562
Глава 9.8	РЕАКЦИОННАЯ СПОСОБНОСТЬ, “ГОРЯЧАЯ” И “ХОЛОДНАЯ” ПРОЧНОСТЬ КОКСА И ИХ ЗАВИСИМОСТЬ ОТ МАРОЧНОГО СОСТАВА ШИХТЫ....	564
9.8.1	О механизме формирования свойств кокса	564
9.8.2	О соотношении показателей “горячей” и “холодной” прочности кокса	565
9.8.3	Влияние марочного состава шихты на качество кокса	571
9.8.3.1	<i>Экспериментальные исследования.....</i>	<i>571</i>

9.8.3.2	<i>Общий вид искомой зависимости</i>	574
9.8.3.3	<i>Связь показателей M25 и M10 с параметром состава шихты</i>	576
9.8.4	Влияние марочного состава шихты на гранулометрический состав кокса	577
9.8.4.1	<i>Оценка среднего размера кусков кокса</i>	578
9.8.4.2	<i>Связь гранулометрического состава кокса с показателями его прочности</i>	581
9.8.4.3	<i>Зависимость среднего размера кусков кокса от состава коксующей шихты</i>	585
9.8.5	О механической обработке кокса	586
9.8.5.1	<i>Прогноз качества скипового кокса, полученного из шихт разного состава</i>	586
9.8.5.2	<i>Прогноз изменения прочности кокса при замене мокрого тушения на сухое</i>	589
9.8.5.3	<i>Об оценке влияния УСТК на качество кокса</i>	590
9.8.5.4	<i>О механической обработке кокса как стадии процесса формирования его свойств</i>	596
	<i>Заключение</i>	599
	СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ К ГЛАВЕ 8	600
Глава 9.9	ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ И СМЕШЕНИЕ КОМПОНЕНТОВ УГОЛЬНОЙ ШИХТЫ КАК ФАКТОРЫ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА КАЧЕСТВО КОКСА	603
9.9.1	Степень измельчения компонентов угольной шихты	603
9.9.1.1	<i>План эксперимента</i>	603
9.9.1.2	<i>Анализ результатов эксперимента</i>	610
9.9.1.3	<i>Построение моделей</i>	616
9.9.1.4	<i>Анализ полученных уравнений</i>	617
9.9.1.5	<i>О реальном распределении компонентов шихты по классам крупности</i>	620
9.9.2	Однородность состава угольной шихты в объеме загрузки	622
9.9.2.1	<i>Свойства классов крупности угольной шихты</i>	622
9.9.2.2	<i>План и результаты эксперимента</i>	623
9.9.2.3	<i>Уравнения для описания показателей M25 и M10</i>	626
9.9.2.4	<i>Анализ уравнений связи M25 с технологическими факторами</i>	627
9.9.2.5	<i>Анализ уравнений связи M10 с технологическими факторами</i>	629
9.9.2.6	<i>О физико-химической природе влияния однородности свойств шихты на качество кокса</i>	632
9.9.3	Оценка эффективности перемешивания	632
9.9.3.1	<i>Степень перемешивания как функция времени</i>	632
9.9.3.2	<i>Оценка степени перемешивания классов крупности угольной шихты</i>	637
9.9.4	Смеситель угольной шихты	639

9.9.4.1	Исходные данные.....	639
9.9.4.2	Математическая модель процесса перемешивания угольной шихты в гравитационном смесителе	641
9.9.4.3	Оценка эффективности работы смесителя	645
	Заключение	647
	СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ К ГЛАВЕ 9.....	649
Глава 9.10	УПЛОТНЕНИЕ ШИХТ И СПЕКАЮЩИЕ ДОБАВКИ КАК ФАКТОРЫ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА КАЧЕСТВО КОКСА	650
9.10.1	Исследование влияния частичного брикетирования шихты на качество кокса	650
9.10.2	Влияние на качество кокса трамбования шихт с твердыми добавками	655
9.10.2.1	Влияние трамбования и твердых органических добавок.....	655
9.10.2.2	Влияние марочного состава шихты и органических добавок на качество кокса из трамбованных шихт	664
9.10.3	Применение твердых спекающих добавок.....	670
9.10.4	Совместное использование твердых спекающих добавок и обмасливания шихты.....	676
9.10.5	Частичное брикетирование со связующими.....	684
	Заключение	691
	СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ К ГЛАВЕ 10.....	692
Глава 9.11	ВЛИЯНИЕ НА КАЧЕСТВО КОКСА ДОБАВОК В ШИХТУ ПОБОЧНЫХ ПРОДУКТОВ КОКСОХИМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА	693
9.11.1	Добавка кислой смолки сульфатного отделения	693
9.11.2	Добавка фусов, кубовых остатков и кислой смолки цеха ректификации	702
9.11.3	Коксование смесей угольной шихты с фусами и нефтяным битумом.....	704
9.11.4	О гранулировании фусов	710
9.11.5	Термоподготовка побочных продуктов КХП.....	714
9.11.6	Добавка спекшегося продукта	720
	Заключение	729
	СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ К ГЛАВЕ 11.....	729
	СОДЕРЖАНИЕ	732