

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт электронного обучения
Специальность Химическая технология природных энергоносителей и углеродных материалов
Кафедра ХТТ и ХК

ДИПЛОМНЫЙ РАБОТА

Тема работы
Исследования состава и свойств каменноугольного пека (ОАО «Алтай-Кокс») УДК 662.749.3.001.5

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5201	Неудахин Владимир Алексеевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. – ХТТ и ХК	Левашова А.И.	Кандидат тех. наук,		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Рыжакина Т.Г.	Кандидат экономич. наук,		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. Экологии и жизнедеятельности	Антоневич О.А.	Кандидат биологич. наук		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ХТТ и ХК	Юрьев Е.М.	Кандидат тех. наук,		

Томск – 2016 г.

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт природных ресурсов

Направление подготовки (специальность) 240403 – Химическая технология природных энергоносителей и углеродных материалов

Кафедра Химической технологии топлива и химической кибернетики

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

дипломной работы

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
3-5201	Неудахину Владимиру Алексеевичу

Тема работы:

Исследование состава и свойств каменноугольного пека (ОАО) «Алтай-кокс»	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	3.03.2016 г., №1778/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	25 мая 2016 г.
--	----------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе (наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).	Физико-химические свойства каменноугольного пека (температура плавления, групповой состав, зольность), в качестве добавок в угольную шихту.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов (аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).	Введение: перспективы использования каменноугольного пека в качестве добавки в угольную шихту с целью улучшения свойств целевого продукта –кокса. Постановка задачи исследования. Теоретический раздел: физико-химические основы процесса высокотемпературного коксования.. Аналитический обзор: методы улучшения качества каменноугольного кокса и совершенствования технологии производства кокса; Экспериментальная часть: исследование каменноугольных пеков, влияние на характеристики кокса. Обсуждение результатов;
Перечень материала	Принципиальная схема этапов исследования (15 л); 5.2 (2-4 листы); Экономические расчеты (20 л.)
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	к.т.н., доцент Рыжакина Т.Г.
Социальная ответственность	Кандидат биологически наук доцент Антонович О.А.
Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	12.01.2016 г.

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент каф. – ХТТ и ХК	Левашова А.И.	канд, техн. наук, доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5201	Неудахин В.А.		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа		ФИО	
3-5201		Неудахин Владимир Алексеевич	
Институт	Электронного обучения	Кафедра	ХТТ и ХК
Уровень образования	Специалитет	Направление/специальность	ХТПЭ и УМ

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах; анкетирование; опрос.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Проведение предпроектного анализа. Определение целевого рынка и проведение его сегментирования. Выполнение SWOT-анализа проекта
2. Определение возможных альтернатив проведения научных исследований	Определение целей и ожиданий, требований проекта. Определение заинтересованных сторон и их ожиданий.
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Составление календарного плана проекта. Определение бюджета НТИ
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Проведение оценки экономической эффективности исследования состава и свойств каменноугольного пека (ОАО «Алтай-Кокс»)

Перечень графического материала(с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. График проведения и бюджет НТИ
4. Расчёт чистого денежного потока
5. Расчет инвестиционных показателей НТИ
6. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Рыжакина Татьяна Гавриловна	к.э.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5201	Неудахин Владимир Алексеевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-5201	Неудахин Владимир Алексеевич

Институт		Кафедра	ХТТ и ХК
Уровень образования	Специалитет	Направление/специальность	ХТПЭ и УМ

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Проведение оценки эффективности исследования состава и свойств каменноугольного пека (ОАО «Алтай-Кокс»)
--	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Производственная безопасность 1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности: – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты; – (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства). 1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности: – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).	Вредные факторы 1.Повышенная запылённость и загазованность воздуха рабочей зоны. ГОСТ 12.1.005-88 «ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» 2.Повышенная температура воздуха рабочей зоны. ГОСТ 12.1.016-79 Воздух рабочей зоны. Требования к методикам измерения концентраций вредных веществ 3.Повышенная температура поверхностей оборудования, материалов.); Федеральный закон от 21 июля 1997 г. N 116-ФЗ О промышленной безопасности опасных производственных объектов 4.Повышенный уровень шума, вибрации. ГОСТ 12.1.003-83 Уровни шума и вибрации на рабочих местах 5.Токсические вещества. ГОСТ 12.1.005 предельно допустимая концентрация в воздухе рабочей зоны по наиболее токсичному компоненту - оксиду углерода - 20 мг/м³, 4-й класс опасности. Опасные факторы 1.Электро- безопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов. Федеральный закон от 21 июля 1997 г. N 116-ФЗ О промышленной безопасности опасных производственных объектов 2.Острые кромки, заусеницы и шероховатость на поверхностях
---	---

	инструментов, заготовок и оборудования. ГОСТ 12.0.004-90 «ССБТ. ... Острые кромки, заусеницы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования.» 3.Расположение рабочего места на значительной высоте относительно земли (пола) ГОСТ 12.4.089 4.Движущиеся машины и механизмы ГОСТ 12.0.002-80 Движущиеся машины и механизмы
2. Экологическая безопасность: – защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.	Основными видами производственных отходов:1.Пыль каменноугольная (В процессе очистки поступает в бункер УЗМ и дозируется в составе шихты в коксовую печь)2.Пыль коксовая (Вывоз на открытую площадку для шлама, где временно размещают до реализации потребителю или возвращается в производство (дозировается в шихту)) 3. Обтирочный материал, загрязнённый маслами (содержание масел менее 15 %)4.Песок загрязнённый маслами (содержание масел менее 15 %)Вывоз на отвал химических отходов.
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях: – перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.	1.Прекращение отсоса коксового газа из газосборников коксовых батарей 2 Прекращение тяги в отопительной системе коксовых батарей вследствие самопроизвольного закрытия шибер тяги общего борова 3 Прекращение подачи аммиачной воды на орошение газосборника Ликвидация и предотвращения чрезвычайных ситуаций и порядок их устранения описано в технологических регламентах и производственных инструкциях 5 Разрыв газопровода. Отключается поврежденный участок газопровода от газовой сети
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности. Правовые и организационные вопросы оговорены в контракте между работником и работодателям. Работники предприятия «ОАО Алтай-Кокс» работающие в коксовом отделении, это квалифицированные специалисты люди старше 18 лет . За работу во вредных условиях труда отпуск составляет 45

	календарных дней, начисляется определенный процент денежных средств за вредные условия труда, в конце каждой смены выдается литр молока. Работники отработавшие более 5 лет на производстве раньше уходят на пенсию
--	--

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Антоневич Ольга Алексеевна	Кандидат биологических наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5201	Неудахин Владимир Алексеевич		

Реферат

Выпускная квалификационная работа 92 с., 2 рис 49 табл., 52 источника, 2 приложения.

Ключевые слова: каменноугольный пек, коксования, кокс, шихта.

Объектом исследования является каменноугольный пек в составе угольной шихты при высокотемпературном коксовании.

Цель работы – изучение влияния каменноугольного пека на процесс коксования и на качества кокса.

В процессе исследования проводилось экспериментальное коксование угольной шихты в состав которой входил каменноугольный пек в качестве спекающей добавки, было проведено пять опытов.

В результате исследования было выявлено: замена какой марки угля, в составе угольной шихты, более плодотворно влияет на качества кокса. Определено наиболее оптимальное процентное содержание пека в составе угольной шихты.

Экономическая эффективность/значимость работы: предложенный метод отличается от других методов невысокой стоимостью, простотой реализации, следовательно, метод обладает высокой экономической эффективностью.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft office 2007.

Обозначения и сокращения

ПКГ—прямой коксовый газ

CSR —показатель горячей прочности

SCI —показатель реакционной способности

ПКГ —прямой коксовый газ

КУС— каменноугольная смола

СБ — сырой бензол

ПУТ —пылеугольное топливо

ПАВ —поверхностно активные вещества

а.е.м — атомная единица массы

д.ед.— десятичных единиц

NPV— чистая текущая стоимость

IRR— внутренние ставки доходности

NPV—чистая текущая стоимость

РРдск.— дисконтированный срок окупаемости проекта

PI— индекс доходности

Оглавление

Обозначения и сокращения	11
Введение	14
1 Теоретический раздел	16
1.1 Процесс коксования	16
1.2 Физико-химические основы процесса коксования	18
1.3 Основные показатели кокса	22
1.4 Методы улучшения кокса	26
2 Влияние каменноугольного пека на угольную шихту	32
2.1 Коксующие свойства каменноугольного пека в смеси с угольной шихтой	32
2.2 Взаимосвязь между составом пека и его поведением при нагреве	36
2.3 Структура фракций каменноугольного пека как спекающей добавки к угольной шихте	38
2.4 Оценка свойств фракции пека	42
3 Экспериментальное коксование	50
3.1 Ящичное коксование	50
3.2 Коксования вариантов шихт с заменой ,одного из марокК и Ж+КС, угольного концентрата на каменноугольный пек.	50
3.3 Коксование шихт с различным содержанием каменноугольного пека	55
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережения	63
4.2. Анализ конкурентных технических решений	63
4.3. SWOT-анализ	65
4.4. Оценка готовности проекта к коммерциализации	66
4.5. Инициатива проекта	67
4.6. Ограничения и допущения проекта	69
4.7. Бюджет научного исследования	71
4.8. Расчет материальных затрат НТИ	72
4.8.1. Специальное оборудование для научных (экспериментальных)	
4.8.2. Основная заработная плата исполнителей темы	74

4.8.3. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	75
4.8.4. Организационная структура проекта	76
4.8.5. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	78
4.8.6. Оценка абсолютной эффективности исследования	78
4.8.7. Чистая текущая стоимость (NPV)	80
4.8.8. Дисконтированный срок окупаемости (PP)	80
4.8.9. Внутренняя ставка доходности (IRR) РРдск	81
4.9. Оценка сравнительной эффективности исследования	82
5. Социальная ответственность	87
5.1. Производственная безопасность	87
5.2. Экологическая безопасность	93
5.3. Организационные мероприятия, позволяющие уменьшить выбросы вредных веществ в атмосферу	95
5.4. Охрана поверхностных и подземных вод	96
5.5. Безопасность в чрезвычайных ситуациях	97
5.6. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	97
Список литературы	98
Приложение А(обязательное)	102
Приложение В(обязательное)	103
Приложение Г(обязательное)	104
Приложение Д(обязательное)	105

Введение

Переход России в рыночную экономику, где прибыль предприятия определяется на рынке сбыта угольного товара, заставила промышленников отказаться от разработки пластов с низкой экономической эффективностью, т.е. не приносящих высоких доходов. Кроме того, изменилась характеристика шахтного фонда: большинство шахт с крутым и наклонным залеганием пластов закрылись за предыдущие 10 лет (1994 –2004 гг.).

Несмотря на складывающиеся тенденции добычи угля, приводящие к значительному сокращению запасов коксующихся углей, их в Кузбассе пока достаточно для удовлетворения возрастающих потребителей. Если же к отработке будет принято лишь 20 %от балансовых запасов, и средняя добыча возрастет до 126млн.т. в год, то запасов по отдельным маркам (ОС, ГЖ, КС) хватит только на 20–30 лет. Поэтому необходимы альтернативные источники сырья, которые заменят ценные марки углей [1].

Основной задачей на металлургическом предприятии «ОАО Алтай-Кокс» является получение качественного металлургического кокса, для этих целей проводятся работы с целью повышение показателей CSR. Высокие требования к качеству кокса являются одним из основных условий достижения технико-экономических показателей доменной плавки. В доменной печи кокс испытывает разрушающее влияние высоких температур и химических реакций с печными газами. Металлургические свойства кокса в условиях доменной плавки лучше характеризуют показатели реакционной способности CRI и прочности после реакции («горячей» прочности) CSR. Высокий показатель CSR качества кокса способствует снижению суммарного расхода топлива в доменной печи за счет создания возможности подавать в домну большое количество дутья с более высокой температурой и обогащенного кислородом.

Анализ периодической и патентной литературы, позволяет сделать вывод, что улучшение свойства угольной шихты возможно при добавки

каменноугольного пека, который является поверхностным продуктом высокотемпературного коксования.

1 Теоретический раздел

1.1 Процесс коксования

Коксование – процесс термической переработки твердых горючих ископаемых характеризующийся высокой конечной температурой процесса до 1100 °С, разложение происходит без доступа воздуха с образованием летучих веществ и твердого остатка – кокса [2].

Коксование каменного угля – переработка его при 900 – 1100°С, с целью получения каменноугольного кокса, коксового газа, каменноугольной смолы и других продуктов.

В зависимости от ширины камеры, влажности шихты и ее насыпной массы, а также температуры в простенках (обычно 1300 – 1370°С) нагревание шихты длится 14 – 18 ч. Для обогрева печей используют доменный, коксовый, генераторный и другие газы или их смеси. Эти теплоносители сгорают в обогревательных простенках, куда наряду с газом подают воздух. Для его подогрева в специальных регенераторах, которые расположены под коксовой батареей и служат ее основанием, используют теплоту продуктов сгорания газа.

Коксование характеризуется одновременностью процессов, происходящих в отдельных слоях (слоевое коксование). Вследствие этого в коксующем массиве длительно находятся одновременно слои кокса, полукокса, пластической массы, сухой и влажный уголь. Кокс формуется в виде монолита (коксового "пирога"), который затем растрескивается на куски разной величины. К концу процесса температуры во всех слоях практически выравниваются.

После завершения коксования дверь камеры открывается с помощью специальных механизмов и раскаленный "пирог" подается коксовыталкивателем в тушильный вагон, перемещающийся по рельсам вдоль коксовой батареи. Кокс тушится, в этом вагоне мокрым способом – обильно орошается водой около двух минут. Охлажденный кокс выгружается равномерным слоем на наклонную коксовую площадку (рампу), на грохотах с

квадратными отверстиями разделяется по классам крупности (>40 , $40-25$, $25-10$, <10 мм) и направляется потребителям. Наиболее распространен сухой способ тушения. Из форкамеры специальной установки кокс постепенно перемещается в камеру тушения, где с помощью азота или других инертных газов охлаждается до $200 - 220^{\circ}\text{C}$. Газ движется снизу вверх навстречу кускам кокса и, охлаждая его, нагревается до $800 - 900^{\circ}\text{C}$ и направляется в котельную установку, где отдает теплоту для образования водяного пара. Охлажденный газ нагнетателем возвращается на тушение раскаленного кокса[3].

Летучие продукты коксования в виде парогазовой смеси с температурой $700-750^{\circ}\text{C}$ охлаждаются сначала в газосборнике, тонкораспыленной водой до 80°C , а затем в трубчатых холодильниках до $25 - 35^{\circ}\text{C}$. Образовавшиеся конденсаты после отделения от коксового газа разделяют отстаиванием и получают органической и водный слои –каменноугольную смолу и надсмольную воду. Из одной тонны угольной шихты получают ($650 - 750$) кг кокса, ($340 - 350$) м^3 коксового газа, ($30 - 40$) кг смолы, ($10 - 12$) кг сырого бензола, ($2,5 - 3,4$) кг аммиака.

Технология коксования предусматривает переработку только определенной группы каменных углей (коксовых, жирных, отощенных, спекающихся), способных при нагревании переходить в пластическое состояние. Поскольку запасы и добыча этих типов углей ограничены, в состав шихты все в больших количествах начинают вводить слабоспекающиеся угли малой (газовые) и высокой степени метаморфизма. При этом чтобы не ухудшить качество (особенно прочность) кокса, технологию слоевого коксования несколько изменяют. В частности, получает распространение метод частичного брикетирования шихты перед коксованием. Примерно $1/3$ количества шихты, состоящей из слабоспекающихся углей, брикетируют со связующим, нефтяного или каменноугольного происхождения и добавляют брикеты к остальной массе шихты, направляемой в угольную башню. Эта технология дает возможность снизить содержание в шихте спекающихся углей

от 64% и более (требуемый уровень при обычной подготовке) до 50%. В некоторых странах шихту загружают в печи в виде трамбованных прочных угольных блоков плотностью от 1,1 до 1,15 т/м³. Трамбование шихты в данном случае осуществляют с помощью специального устройства, смонтированного на коксовыталкивателях [4].

Эффективный метод совершенствования слоевого коксования шихты с большим содержанием слабоспекающихся компонентов заключается в том, что хорошо измельченную шихту сначала нагревают газообразным теплоносителем до 150 – 250 °С и только после этого загружают в печи. Термическая подготовка шихты позволяет увеличить в ней долю газовых углей до 75 %, повысить на 30–40% производительность печей (благодаря увеличению разовой загрузки шихты вследствие повышения ее насыпной массы от 0,7 до 0,85 т/м³ и сокращению длительности процесса на 1,5–2,0 ч), увеличить прочность кокса.

1.2 Физико-химические основы процесса коксования

Коксование – это сложный двухфазный эндотермический процесс, в котором протекают термофизические и термохимические процессы превращения коксуемого сырья, и химические реакции с участием компонентов его органической части. Коксование проводят в коксовых печах, являющихся реакторами периодического действия с косвенным нагревом, в которых теплота передается к коксуемой угольной шихте через стенку реактора[5]. Следовательно, термофизические процессы при коксовании включают:

- теплопередачу от стенки к материалу шихты;
- диффузию продуктов пиролиза (паров воды и летучих веществ) через слой шихты;
- удаление этих продуктов из шихты.

При установившемся режиме процесса коксования количество теплоты, передаваемое за единицу времени, определится из уравнения

$$Q = K_t \times F \times \Delta t, \quad (1)$$

Где K_t – коэффициент теплопередачи, $\text{кДж/м}^2\cdot\text{град}\cdot\text{ч}$;

F – поверхность теплопередачи, м^2 ,

$\Delta t = t_r - t_{\text{ш}}$ – разность температур обогревающих стенку камеры печи газов t_r и нагреваемой шихты (температуры коксования) $t_{\text{ш}}$. Коэффициент теплопередачи рассчитывается по формуле

$$K_t = 1 / (1/\alpha_1 + \delta_1/\lambda_1 + \delta_2/\lambda_2 + \alpha_2/2), \quad (2)$$

где α_1 и α_2 – коэффициенты теплопередачи соответственно от греющих газов к стенке печи и от стенки к шихте, $\text{кДж/м}^2\cdot\text{град}\cdot\text{ч}$;

δ_1 – толщина стенки, м ,

$\delta_2 = b/2$ – половина толщины загрузки шихты, м , λ_1 и λ_2 соответственно коэффициенты теплопроводности стенки и шихты, $\text{кДж/м}^2\cdot\text{град}\cdot\text{ч}$.

Для увеличения теплового потока и, как следствие, интенсивности обогрева печи необходимо повышать коэффициент теплопередачи K_t и поверхность обогрева F . Так как коэффициент теплопередачи угольной шихты весьма мал, то из формулы (2) следует, что для увеличения коэффициента теплопередачи K_t , помимо повышения α_1 и α_2 , необходимо уменьшать толщину слоя угольной шихты. Поэтому ширина камеры печи достаточно жестко регламентирована и составляет обычно 0,40–0,45 м. Из этого следует, что поверхность теплопередачи F определяется двумя другими размерами камеры печи – длиной и высотой [6].

Коксовая печь – это реактор периодического действия, поэтому температура угольной шихты в ней изменяется во времени. Следовательно, изменяется и движущая сила процесса, то есть разность температур между греющими газами и угольной шихтой $\Delta t = t_r - t_{\text{ш}}$. Непосредственно после загрузки шихты $t_{\text{ш}}$ мала и разность Δt велика. Поэтому в холодную шихту поступает в единицу времени большее количество теплоты и уголь у стенок камеры начинает коксоваться, в то время как вследствие низкой теплопроводности шихты средние слои остаются холодными. По мере прогрева

шихты ее температура возрастает, и движущая сила процесса Δt падает при одновременном повышении температуры по сечению камеры.

Химические превращения при коксовании могут быть сведены к реакциям двух типов: первичным и вторичным.

К первичным реакциям, протекающим в шихте при ее нагревании, относятся:

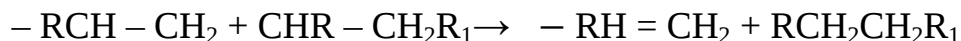
- реакции деструкции сложных молекул;
- реакции фенолизации;
- реакции карбонизации органической части угля;
- реакции отщепления атомов водорода, гидроксильных, карбоксильной и метоксильной OCH_3 групп [6].

В процессе первичных превращений из угольной шихты выделяются первичный газ и пары первичной смолы и образуется кокс. К вторичным реакциям, которые протекают при контакте выделившихся первичного газа и первичной смолы с нагретой стенкой печи, относятся:

- реакции крекинга алканов;
- $\text{C}_n\text{H}_{2n} + 2 \rightarrow \text{C}_m\text{H}_{2m} + 2 + \text{C}_p\text{H}_{2p}$;
- реакции полимеризации алкенов;
- $3\text{C}_n\text{H}_{2n} \rightarrow \Delta\text{C}_n\text{H}_{2n}$;
- реакции дегидрогенизации нафтендов;
- $\Delta\text{C}_n\text{H}_{2n} \rightarrow \text{C}_n\text{H}_{2n-6} + 3\text{H}_2$;
- реакции конденсации ароматических углеводородов, например;
- $2\text{C}_6\text{H}_6 \rightarrow \text{C}_{10}\text{H}_8 + \text{C}_2\text{H}_4$;
- реакции образования карбенов с последующим превращением их в полукоксы и коксы.

При нагреве углей происходит разукрупнение жестких макромолекул и разрушение пространственных структур вследствие разрыва эфирных, метиленовых и других мостиковых связей. Образовавшиеся свободные радикалы блокируются и насыщаются водородом и малыми радикалами. В этих

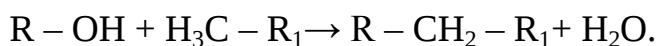
процессах решающую роль играют перераспределения водорода между образующимися продуктами, поэтому одни из них обогащаются водородом и становятся насыщенными молекулами, а другие обедняются водородом, становятся ненасыщенными и участвуют в процессе конденсации:



Образующиеся радикалы, которые принимают водород, превращаются в вещества с меньшей молекулярной массой. Из них формируется жидкая фаза пластической массы.

Термические превращения в жидкой фазе, по сравнению с газовой, имеют свои особенности, так как здесь оказывает влияние клеточный эффект. При распаде макромолекул радикалы не удаляются мгновенно, чему препятствуют клетки, образуемые соседними молекулами. Поэтому они должны преодолевать активационный барьер для диффузии из клетки [7].

Одновременно с процессами деструкции протекают реакции конденсации посредством реакционно-способных кислородосодержащих группировок с образованием высокомолекулярных продуктов:



Поэтому протекают одновременно два направления процесса жидкофазный и твердофазный. В жидкой фазе происходит пластификация твердых продуктов.

Продуктом вторичных превращений является сложная смесь газообразных и парообразных при температуре коксования веществ различной природы – прямой коксовый газ (ПКГ).

При нагревании (до 250°C) из угля испаряется влага и выделяются продукты разложения – CO и CO₂. Затем (при 300°C) выделяется небольшое количество лёгкой смолы и пирогенетической влаги, образующейся при расщеплении кислородных соединений, входящих в состав угля. Приблизительно при температуре 350 °C уголь размягчается, переходя в пластичное состояние. В расплаве происходит интенсивное разложение угля с выделением первичных продуктов (первичных газа и дегтя), которые имеют

сложный состав. Тяжелые углеродистые остатки разложения угля спекаются, при температуре около 500 °С. Образуется твёрдый пористый продукт –полукокс. При дальнейшем нагревании полукокс теряет остаточные летучие вещества, главным образом водород, и претерпевает усадку, вызывающую его растрескивание. Выше 700 °С полукокс полностью превращается в кокс. Первичные продукты разложения, соприкасаясь с раскалёнными стенками и сводом печи, а также с коксом, подвергаются пиролизу и превращаются во вторичные продукты.

В составе газа преобладающим становится водород (50% по объёму) и метан (25% по объёму), органические продукты ароматизируются. Вторичные продукты улавливаются и используются как ценное сырьё для химической промышленности. В коксовой печи коксование протекает послойно: температура слоев снижается от нагретых (выше 1000°С) стенок печи к середине загрузки.

1.3. Основные показатели кокса

По условиям службы в доменной печи кокс должен иметь постоянное содержание влаги, малое количество минеральных примесей и серы, высокую механическую прочность в исходном состоянии и при нагреве до 1500–1600°С, ограниченную долю мелких и чрезмерно крупных частиц[9]. С учетом этих требований кокс оценивают по содержанию влаги, химическому составу сухой и горючей массы, механическим и физико-механическим характеристикам.

Влажность кокса ($W_r, \%$) определяют по потере массы пробы, после высушивания при 105 –110°С. Высушивание проводится помощью нейтронных влагомеров. В условиях мокрого тушения влажность составляет 3 –5%, изредка достигая 7 – 8%. При сухом тушении W_r равно от 0,1 до 0,5%. На количество влаги влияют гранулометрический состав и пористость кокса. Мелкий и пористый продукт всегда содержит больше влаги, чем крупный и плотный (в классе (25 –0) мм иногда $W_r=15-18\%$). В условиях весового дозирования компонентов доменной шихты, колебания влажности кокса вызывают

непостоянство его сухой массы, загружаемой в печь, что меняет тепловой режим горна. Кроме этого регулярный контроль влаги необходим для коммерческих расчетов с поставщиками.

О химическом составе сухой массы кокса судят по техническому анализу, включающему определение летучих веществ (V_d , %), золы (A_d , %) и серы (S_d , %).

Влажность характеризует степень готовности кокса. Его вычисляют по убыли массы навески после прокаливании при температуре 850°C без доступа воздуха. Оптимальная величина летучих составляет 0,8 – 1,2%; более высокое их значение свидетельствует о незавершенности процесса коксования, более низкое – об излишнем пребывании кокса в камерах и наличии в его кусках многих трещин. В классе (10 – 0) мм количество летучих часто равно (4–6)%.

Содержание золы определяют по остатку навески кокса после окисления воздухом, при температуре 850°C . Ее количество зависит от массы минеральных веществ в угольной шихте. Так как в процессе коксования масса этих веществ меняется мало, а выход твердого продукта из шихты составляет (70 – 78)%, содержание золы в коксе всегда больше, чем в шихте. Сжигание пробы кокса для определения содержания золы вызывает окисления сернистого железа до Fe_2O_3 . В итоге масса золы, показываемая техническим анализом, превышает содержание минеральных веществ на величину связанного с железом кислорода. Фактическое количество негорючих компонентов (A_{od} , %) можно вычислить по формуле:

$$A_{od} = A_d(1 - 0,3 \times \text{Fe}_2\text{O}_3), \quad (3)$$

где Fe_2O_3 — содержание оксида железа в золе, кг/кг;

0,3 — доля кислорода в оксиде железа, кг/кг.

Серу определяют сжиганием навески кокса со смесью оксида магния и карбоната натрия (смесь Эшке) с последующим растворением и осаждением сульфат ионов в виде сульфатов бария, а также ускоренным методом. Так как удаление серы в процессе коксования (25 – 30%) близко к выходу летучих

веществ из угольной шихты, ее средняя доля в шихте и коксе приблизительно одинаковы [8].

В случае необходимости технический анализ дополняют более продолжительным и трудоемким элементным анализом органической массы, включающим определения водорода ($H_0, \%$) кислорода ($O_0, \%$) и азота ($N_0, \%$). Для пересчета содержания перечисленных элементов на сухую массу пригодны выражения:

$$H^d = H_0 \frac{100 - A_0^c}{100} ; O^d = O_0 \frac{100 - A_0^c}{100} ; N^d = N_0 \frac{100 - A_0^c}{100} \quad (4)$$

Значение N^d, O^d и H^d зависят от состава угольной шихты и температуры коксования. В большинстве случаев:

$$V_0^d = 100 - (H^d + O^d + N^d) = 1,6 - 2,0\% \quad (5)$$

Количество углеродов в коксе вычисляется по формуле(6)

$$C^d = 100 - (A_0^d + S_0^d + V_0^d) \quad (6)$$

Механические свойства кокса оценивают по гранулированному составу, прочности, порозности и насыпной массе.

Гранулометрический состав определяют, просеивая пробу кокса на ситах с квадратными отверстиями размеров 80;60;40;25 и 10 мм. Показателям гранулометрического состава служит выход фракций (классов): >80, 80 – 60, 60 – 40, 40 – 25, 25 – 10 и 10 – 0 мм, выражены в процентах от массы пробы. Наиболее желательным для доменных печей объемом 2000 м³ и более является класс 80 – 60 и 60 – 40 мм более однородны, но все же в первом больше срединных и приосевых кусков, а во втором головочных. Коэффициент столбчатости K_c равный отношению длины куска к среднему поперечному размеру класса 60—40 и 40—25, больше чем у других.

Порозностью называют относительный объем межкусковых пустот в слое сыпучего материала, выраженный в долях единицы или в процентах. Она характеризует плотность укладки частиц в слое, обусловленную соотношением крупных и мелких частиц, а также их формой. Порозность скипового кокса обычно составляет 45 – 50 %.

Насыпная масса соответствует весу единицы объема сыпучего кокса. Она зависит от кажущейся плотности частиц и порозности слоя. Насыпная масса сухого кокса имеет следующее значение:

Таблица 1 – Значения насыпной массы [3]

Крупность кусков,мм	100-80	80-60	40-25
Насыпная масса, кг/м ³	420-440	455-475	490-515

Кажущаяся плотность представляет собой массу единицы объема кусков какого-либо вещества. Для обычного производственного кокса класса 60 – 25 мм она равна (0,9– 1,0) г/см³. Истинная плотность кокса меняется мало, составляя в большинстве случаев (1,87–1,91), г/см³.

К физико-химическим характеристикам кокса относят пористость, степень графитизации углерода, реакционную способность и теплоту горения.

Пористостью называют относительный объем пор в куске любого сыпучего материала, выраженный в процентах или долях единицы. Пористость кокса зависит от выхода летучих веществ из угольной шихты, температуры и продолжительности коксования. Различают пористость общую и открытую[9]. Первую вычисляют делением кажущейся плотности кокса на истинную, вторую определяют по объему пор, заполняемых кипящей водой. Общая пористость кокса составляет(45 – 55)%, открытая (85 – 95)% от общей. При высокой пористости стенки пор становятся тоньше, что увеличивает истираемость частиц.

Реакционная способность кокса(CRI) характеризуется, взаимодействием кокса с CO₂, в специальном реакционном сосуде при определенных условиях.

Горячая прочность (CSR) определяется во вращающемся барабане в течение 30 минут со скоростью 20 оборотов в минуту.

1.4. Методы улучшения кокса

Для улучшения показателей кокса CSR (повышения) и CRI (снижения) на коксохимических заводах используют различные способы и приемы, основными из которых являются подготовка угольной шихты для коксования, подбор условий и параметров коксования, обработка готового кокса с помощью химических веществ и так далее.

Подготовка угля к коксованию заключается в составлении угольной шихты определенного состава, состоящей из смеси углей, обеспечивающих получение качественного металлургического кокса. Для составления шихты используют угли различных марок: К – коксовый, Г – газовый, Ж – жирный, ОС – отощенный спекающийся и другие. Шихту можно составить и без марки К, применяя спекающиеся угли с добавкой до 5% неспекающихся углей марок Д – длиннопламенный и Т – тощий. Уголь каждой марки сначала дробят, измельчают, подвергают обогащению для уменьшения золы и серы, а затем угли всех марок смешивают в определенных соотношениях, перемешивают и подают на коксование.

Качество полученного кокса зависит в значительной мере от правильности составления угольной шихты. На коксохимические заводы уголь поступает обычно с многих шахт и углеобогачительных фабрик, и специалист должен не только знать свойства и состав углей, но и уметь составлять из них смесь, которая дает наилучший кокс. Составление угольных шихт для коксования производится эмпирически.

В ВУХИНе проведена проверка всех этих методик с учетом составления угольных шихт из углей Кузнецкого, Карагандинского, Печорского, Южно-Якутского бассейнов.

Организация приема угля на обогатительной фабрике должна обеспечить оперативную разгрузку прибывших с углем транспортных средств, учет количества и анализ качества прибывшего угля, загрузку дозирочно-аккумулирующих бункеров по шахто-маркам с максимальным усреднением в

пределах шахто-марки, составление угольной шихты, направляемой в процесс обогащения.

Основной причиной того, что при гравитационном обогащении не обеспечивается постоянство технологического режима и получение концентрата постоянного качества, является неточное дозирование рядовых углей перед их обогащением в результате плохой работы дозирующих устройств, при составлении угольной шихты.

Угледоготовительный цех обычно состоит из углеприема. Там выполняются работы по разгрузке пребывающего в вагонах угля. Затем уголь транспортируется в другие отделения складов, где хранится оперативный запас всех марок углей, проводится их усреднение; предварительное дробление, измельчение топлива до крупности 80 – 0 мм или 50 – 0 мм. Измельченный уголь называют дозировочным. Он предназначен для составления угольной шихты; окончательного измельчения угольной шихты или ее компонентов. В состав некоторых угледоготовительных цехов могут входить смесительное отделение и отделение избирательного измельчения угольной шихты. Там смешиваются отдельные компоненты шихты или предварительно отсеянная часть шихты с подвергающейся окончательному измельчению, соответственно.

Выход продуктов коксования зависит от степени углефикации, насыпной плотности, выхода летучих веществ и влажности угольной шихты, конструкции печей, режима коксования (температуры) и других факторов. В частности выход КУС и СБ выше для углей с большим выходом летучих веществ, то есть марок Г и Ж. Этим, помимо качества кокса, объясняется использование при составлении угольной шихты углей именно этих марок.

Качество полученного кокса зависит в значительной мере от правильности составления угольной шихты. На коксохимические заводы уголь поступает обычно из многих шахт и углеобогащательных фабрик, и специалист должен не только знать свойства и состав углей, но и умело составлять из них смесь, которая дает наилучший кокс. Составление угольных шихт для коксования производится эмпирически [10].

Металлургический кокс имеет в большей или меньшей степени ослабленные места (поры, плохо спекшиеся включения) и трещины. Все это приводит к значительному изменению ситового состава кокса, особенно в доменной печи. Поэтому прочность кокса является одной из важнейших характеристик его свойств. При составлении угольных шихт для коксования необходимо учитывать не только требования к техническому составу кокса, но и к его прочности.

Новейшие технологии выплавки чугуна направлены на сохранение дефицитных и дорогостоящих энергоносителей (кокс, газ, мазут и другие) и замену их на пылеугольное топливо (ПУТ). Замена в доменной печи части кокса на ПУТ выдвигает новые требования к его качеству, которые определяются условиями процесса и поведением кокса в домне. На многих металлургических заводах Европы, Азии, Америки в домну вдувают ПУТ до (200–240) кг/т чугуна, а затраты кокса при этом снижены до (280 – 300) кг/т. При этом не используют природный газ и мазут. Для достижения таких показателей металлургическому заводу нужен кокс с показателями CRI менее 26,6%, а CSR – (65 – 70)%.

Для получения доменного кокса с такими показателями качества нужно иметь высококачественный коксующийся уголь, количество которого недостаточно для нужд коксохимии. Поэтому для улучшения качественных показателей CSR и CRI доменного кокса используют различные способы и приемы, основанные как на составлении и подготовке угольной шихты для коксования, так и на варьировании условий коксования.

Известен способ улучшения качественных показателей доменного кокса, включающий обработку кусков доменного кокса при температуре (20 – 50)°C водным раствором тетрабората, выбранного из ряда: тетраборат натрия, тетраборат калия, тетраборат кальция. При этом происходит дезактивация кокса по реакции с кислородом (O_2) и углекислым газом (CO_2) за счет образования при дальнейшем нагревании в доменной печи обработанного кокса защитной пленки из расплавленных боратов на поверхности кусков кокса.

Недостатком известного способа является низкая его эффективность ввиду использования не в полной мере химических возможностей тетрабората для улучшения качественных показателей CRI и CSR кокса, что обусловлено как особенностями обработки кокса растворами тетрабората, так и тем, что поверхность кокса гидрофобная по отношению каплям воды (раствору тетрабората). Это приводит к стеканию части капель раствора по поверхности куска кокса, неполному смачиванию его. Соответственно, молекулы тетрабората покрывают не всю поверхность, что не позволяет в полной мере создавать на поверхности кусков кокса защитный слой.

Наиболее близким аналогом предлагаемого изобретения является способ улучшения качественных показателей доменного кокса, обработку доменного кокса путем разбрызгивания при температуре $(20 - 50)^{\circ}\text{C}$ на куски доменного кокса $(2 - 20)\%$ водного раствора тетрабората натрия, или калия, или кальция, содержащего $(0,1 - 0,2)$ мас.% неионогенного поверхностно-активного вещества (ПАВ) в виде моно- и диалкиловых эфиров полиэтиленгликоля. Для обработки используют такое количество ПАВ, чтобы его содержание в коксе соответствовало $0,007\text{мас.}\%$. Это обеспечивает более полное покрытие поверхности и лучшее проникновение в объем кусков кокса раствора тетрабората, обеспечивая покрытие поверхности щелей и пор кокса молекулами тетрабората. При этом происходит дезактивация (ингибирование) кокса по реакции с O_2 и CO_2 за счет образования при дальнейшем нагревании в доменной печи обработанного кокса защитной пленки из расплавленного тетрабората на поверхности кокса.

Диоксид углерода за счет образования при дальнейшем нагревании в доменной печи обработанного кокса защитной пленки из расплавленного тетрабората на поверхности кокса.

Недостатком известного способа является недостаточная степень улучшения качественных показателей CRI и CSR для потребностей доменного процесса, обусловленных заменой значительной части $(200-220 \text{ кг/т}$ чугуна) доменного кокса на ПУТ.

Причинами недостатка известного способа является большая доля щелочного или щелочноземельного металла в тетраборате этого металла, что негативно сказывается на величине показателей CRI и CSR кокса. Также низкое содержание бора в молекулах тетрабората (18–22%) не позволяет в полной мере покрыть поверхность кусков кокса надежным защитным слоем.

В экспериментальной части данной работы были проведены опыты с добавлением в шихту нефтяной добавки и каменноугольного пека.

В результате коксования угольной шихты с нефтяной добавкой были получены следующие результаты:

При увеличении доли участия нефтяной коксующей добавки в составе шихты для коксования соответственно увеличивается содержание серы в шихте с 0,58% (шихта с 3% нефтяной коксующей добавкой) до 0,81% (шихта с 9% нефтяной коксующей добавкой). При этом в коксе повышается содержание серы: 0,42% (без нефтяной коксующей добавки), 0,56% (с 3% нефтяной коксующей добавки), 0,80% (с 9% нефтяной коксующей добавки).

При увеличении доли участия НКД в составе шихты снижается зольность шихты и соответственно зольность кокса.

При введении в базовую шихту каменноугольного пека в объеме 2% происходит увеличение горячей прочности CSR на (3 – 4)%, снижение зольности незначительно.

При введении в базовую шихту 5% НКД происходит снижение зольности на 0,5% и увеличение горячей прочности CSR на 1,5%.

При участии в составе угольной шихты каменноугольного пека Показатель горячей прочности кокса (CSR) существенно увеличился на 6,8 – 13,8 % при введении в состав шихты каменноугольного пека, по отношению к базовой шихте. Максимальное увеличение горячей прочности произошло в коксе, полученном из шихты с 10% участием каменноугольного пека. Реакционная способность кокса (CRI) так же существенно снизилась с 32,4% до 24,5%, разница составила 8%.

Изменился гранулометрический состав кокса, произошло снижение крупных классов, существенно выросло содержание фракции 40-60мм, а так же выросла фракция 25 — 40мм.

Незначительно снизилось содержание серы с 0,46% до 0,37% практически на 0,1%.

2. Влияние каменноугольного пека на угольную шихту

2.1. Коксующие свойства каменноугольного пека в смеси с угольной шихтой

Коксующие свойства каменноугольного пека существенно зависят от соотношения показателей фракционного состава, определяющего набор структурных компонентов, участвующих в образовании мезофазы. Оптимальное сочетание высокомолекулярных ароматических соединений, полициклических соединений промежуточной молекулярной массы и водородо-донорных гидроароматических компонентов достигается при соотношении фракций пека $\alpha:\beta:\gamma = 1:2:2$, что характерно для каменноугольных пеков с температурой размягчения $(75 - 85)^\circ\text{C}$. Такие пеки являются лучшими спекающими добавками. После их введения в угольную шихту обеспечивается образование кокса с наибольшей прочностью.

Современное состояние коксохимической отрасли в странах СНГ характеризуется нарушением стабильности производства кокса вследствие значительных колебаний марочного состава угольных шихт на большинстве заводов. В этих условиях особую важность приобретают методы специальной подготовки шихты (предварительный нагрев, трамбование, брикетирование) и введение все состав органических добавок. Это способствует частичному или полному нивелированию отрицательного эффекта колебаний состава угольных смесей. Наиболее простым среди этих методов, является метод использования спекающих добавок, так как кокс обладает высокими качествами, несмотря на использование шихты с пониженными коксующими свойствами. В качестве спекающей добавки в этом случае можно использовать каменноугольные пеки, полученные в условиях собственных коксохимических производств. Они менее дефицитные и менее дорогие в сравнении с нефтяными спекающими добавками.

Влияние группового фракционного состава широкой гаммы каменноугольных пеков на их коксующие свойства при введении 10% пека в угольную шихту.

Изучено более 40 образцов пеков, которые наряду с фракционным составом характеризовали выходом летучих веществ V^{daf} , температурой размягчения t_p , коксуемостью по Конрадсону K1 и индексом Рога RI1:5 (при соотношении пека и антрацита 1:5) и RI2:4 (то же, при 2:4). При определении фракционного состава выделяли мальтены (γ -фракция; вещества, растворимые в н-гексане), асфальтены (β -фракция; вещества, нерастворимые в н-гексане, но растворимые в толуоле), карбены и карбоиды (α -фракция; вещества, нерастворимые в толуоле). Параметры пеков находились в интервалах: содержание фракций (%) α 18,5-43,2; β 34,5-41,6; γ 19,1-45,0; V^{daf} 27,3-73,2 96; t_p (по методу кольца и шара) 55-190 °C; K1 = 42,5-87,1 %; RI1:5 38,5-70,9; RI2:4 55,0-83,6. Данные по ряду каменноугольных пеков представлены в таблице №2.

Для лабораторных коксований составляли смеси (в процентах): угли марок КО 20, КС 50, Г 10, пек 10 при варьировании типа пека. Качество лабораторного кокса характеризовали индексами дробимости П25 и истираемости П10, отношение которых определяло показатель коксуемости $K2 = \text{П25}/\text{П10}$ (таблица 2). Параметр, отражая изменчивость состава и свойств спекающей добавки, как следует из данных таблицы 2, варьирует в широких пределах (4,2–12,6). При использовании в аналогичных шихтах нефтяных спекающих добавок с температурой размягчения (50–205)°C показатель коксуемости K2 менялся в более широком интервале 5,0 –16,7. Это можно объяснить определенными различиями состава и свойств нефтяных продуктов и каменноугольных пеков одного диапазона температур размягчения. Эти различия особенно проявляются при отношении Н/С и выхода летучих веществ V^{daf} . Одинаковые значения V^{daf} , в случае пеков нефтяного происхождения, соответствуют более высоким величинам Н/С по сравнению с каменноугольными пеками. Очевидно, это характеризует различия структуры и свойств двух семейств спекающих добавок.

Оптимальные коксующие свойства должны иметь пеки, обладающие определенным фракционным составом, который характеризуется оптимальным набором соединений с конденсированной ароматической и водородо-донорной гидроароматической структурами.

Это заключение полностью подтверждается данными настоящей работы, результаты которой (смотреть в таблице 2) указывают на оптимальность состава и свойств определенных образцов пека (типа 4, 5, 6 по таблице 2). Их введение в угольную шихту приводит к наибольшей величине показателя коксуемости K_2 . Действительно, как следует из этой же таблицы, в отличие от индексов Рога $RI_{1:5}$ и $RI_{2:4}$, а также коксуемости по Конрадсону K_1 значения которых монотонно повышаются вдоль всего ряда пеков одновременно с увеличением их текучести (ростом температуры размягчения), показатель коксуемости пекоугольной композиции K_2 увеличивается лишь до определенного предела (смотреть таблица 2, образец 5). Однако при дальнейшем увеличении индексов Рога (>50 и > 57 соответственно для $RI_{1:5}$ и $RI_{2:4}$) коксуемость шихты существенно понижается

Таблица 2– Характеристики каменноугольного пека и прочности кокса [11]

Образец пека	Фракционный состав, %			V^{daf} , %	t_p , °C	Индекс Рога		Коксуемость*	
	α	β	γ			$RI_{1:5}$	$RI_{2:4}$	K_1	K_2
1	18,5	36,5	45,0	73,2	55	38,5	50,5	42,5	7,5
2	19,0	36,5	44,5	72,5	58	38,6	53,2	43,8	8,6
3	20,3	37,5	42,2	68,5	65	41,1	52,6	44,0	10,9
4	20,0	38,8	41,2	66,1	75	43,7	54,1	44,8	11,8
5	21,3	36,9	41,8	64,3	80	44,5	57,2	45,0	12,6
6	21,6	37,6	40,8	63,8	84	51,2	55,6	50,6	11,9
7	23,0	36,3	40,7	62,6	90	55,4	60,8	53,0	10,4

8	22,9	36,7	40,4	62,1	98	53,7	60,1	51,6	10,5
9	26,4	35,1	38,5	54,1	118	59,5	68,1	69,5	9,5
10	30,2	34,4	35,4	42,9	150	62,0	72,7	78,8	8,5
11	35,2	37,6	27,2	32,4	172	65,2	82,3	84,5	5,4
12	36,6	40,0	21,4	28,5	190	67,7	82,6	85,6	4,2

K_1 - показатель коксуетости по Конрандсону; K_2 — показатель коксуетости каменного угля в присутствии пека

При малом содержании α -фракции и повышенном содержании γ -фракции в пеке (таблица 2), т. е. при недостатке высокомолекулярных полисопряженных структур и избытке структур водородо–донорных коксуетость шихты снижается. В свою очередь, коксуетость шихты невысока и при повышении в пеке содержания полисопряженных структур (рост доли α -фракции), и при уменьшении содержания водородо–донорных компонентов (снижение доли γ -фракции). Оптимальный состав пека соответствует соотношению $\alpha : \beta : \gamma = 1:2:2$, характерному для образца 5. Отсюда следует, что основу ароматизированных стопок мезофазы должны составлять соединения типа $(C_{27}H_{15}X)$, $(C_{28}H_{14})$, входящие в состав β -фракции, и соединения $(C_{23}H_{15})$, $(C_{25}H_{10}X)$ γ -фракции. При формировании «оптимальной» мезофазы роль высокомолекулярных полисопряженных структур α -фракции является, по-видимому, подчиненной.

Оптимальное сочетание структурных компонентов, характерное для каменноугольных пеков с температурой размягчения $75 - 85^\circ C$ делает эти пеки лучшими спекающими добавками. При их введении в угольную шихту обеспечивается образование кокса, обладающего наибольшей прочностью как в исходном состоянии, так и после высокотемпературной обработки в атмосфере CO_2 .

2.2. Взаимосвязь между составом пека и его поведением при нагреве

Объектами исследования служили пробы нефтяных пиролизных и среднетемпературных каменноугольных пеков, отличавшиеся содержанием α -фракции в широких пределах от 1,3 до 8 % масс, (смотреть таблица3). Поведение пека при нагреве изучали методом термического анализа с использованием дериватографа. Условия проведения опыта: навеска (0,13 – 0,15) г, скорость подъема температуры до 800°C 10 град/мин, среда – инертный газ (гелий).

Распределение молекулярных масс определяли по методикам эксклюзионной хроматографии, работы для каменноугольных пеков на геле ЛН-20, для нефтяных пеков - на стиролдивинилбензольном геле. Подвижной фазой для хроматографии служил в обоих случаях тетрагидрофуран.

В качестве объектов исследования были взяты среднетемпературные каменноугольные пеки одного способа производства по свойствам, близкие к пеку № 8, но отличающиеся между собой содержанием α 1-фракции от 4 до 8 % масс. При этом значения температуры размягчения, выхода летучих и содержания α -фракции мало различались и находились в пределах норм ГОСТ 10200-83 на пек марки «А». Нефтяные пеки соответствовали термополиконденсированному пеком, полученным в мягком режиме с подачей пара и в жестком режиме под давлением.

Таблица 3 – Содержаний α фракций [12]

№ про б	Тр, °С	%	Содержание фракций, %		М _{мин.}	М _{макс.}	Δ ш ₃₆₀ %	Δ m 400-500, %	Δ K, %
			α	α 1					
1	67,5	63,00	26,62	4,08	158	496	18,5	17,6	14,0
2	67,0	63,35	25,34	4,64	120	421	15,7	17,3	16,8
3	67,0	61,49	24,74	4,86	105	457	22,5	15,0	18,0
4	67,0	61,45	26,01	5,05	144	496	20,6	16,1	17,0
5	66,0	61,58	24,78	5,24	76	467	23,6	11,5	14,1
6	66,0	60,95	25,96	5,37	96	467	16,8	13,9	13,9
7	67,0	62,65	25,16	5,43	120	500	16,5	20,4	16,5
8	65,0	63,56	24,02	5,81	96	436	19,2	16,9	18,2

9	65,0	61,74	25,61	6,29	76	478	24,6	13,4	18,0
10	68,0	61,66	24,93	6,40	76	436	24,2	12,1	16,6
11	63,0	61,50	25,31	6,61	76	467	22,6	12,8	15,2
12	69,0	61,42	25,23	6,63	76	467	22,2	10,9	16,2
13	66,0	60,60	25,60	6,94	76	436	20,1	16,4	18,7
14	65,0	60,89	27,29	7,00	178	473	16,2	14,7	15,0
15	69,0	61,14	26,84	7,12	193	500	18,5	16,8	17,3
16	65,0	59,70	29,04	8,00	133	473	20,4	-	17,0
17	63,0	72,8	3,9	следы	76	4700	22,1	30,0	12,3
18	74,0	71,3	7,5	следы	350	4700	18,1	18,0	12,1
19	80,0	68,5	5,7	1,06	76	4780	17,7	19,9	14,0
20	84,0	61,6	20,2	1,03	128	4170	15,0	17,6	10,0

Пробы каменноугольных пеков разделяются на 7–10 фракций с диапазоном индивидуальных значений М для каждой фракции (76–500) а.е.м., при этом минимальные значения М изменялись от 76 до 193, максимальные от 421 до 500. Диапазон изменения М фракций нефтяных пеков значительно шире (76 – 5000) а.е.м., количество выделенных фракций в нефтяных пеках колеблется от 10 до 17, минимальные значения М изменяются от 76 до 330 а.е.м. По данным термогравиметрии определяли потерю массы в температурном интервале 20–360°С, соответствующем испарению наиболее легколетучих компонентов пека и 400–500°С, соответствующем области образования полукокса. Согласно полученным данным, потеря массы легколетучих компонентов колеблется для каменноугольных пеков в пределах от 15,7 % до 24,6 %, а для нефтяных пеков одного способа получения – относительно постоянна – для пеков мягкого режима (18– 22) % мас., для пеков жесткого режима (15,0–22,1) %.

Сопоставление результатов хроматографического и термического анализов позволяет установить для каменноугольных пеков зависимость между величинами потери массы. В указанных температурных интервалах, минимальными и максимальными значениями М. Рост минимальных значений М указывает на снижение в пеке доли легколетучих компонентов, что соответствует уменьшению потери массы до 360°С. Увеличение потери массы в области 400–500°С обусловлено снижением содержания в пеке наиболее

конденсированных фракций, т.е. уменьшением максимальных значений M . Это подтверждается характером изменения содержания в пеке α_1 -фракции. Для нефтяных пеков, полученных методом термополиконденсации, такой зависимости установить не удалось. Потеря массы в области до 360 °С у этих пеков не велика, они имеют более высокие значения средней молекулярной массы и повышенную термическую стойкость. А более высокие значения $M_{\max}$ фракций, по сравнению с фракциями каменноугольных пеков обеспечивают повышение коксового остатка даже при низких содержаниях α_1 - и α - фракции [12].

Влияние M фракций пека на его спекаемость оценивали по величине показателя критерия спекаемости АК, введенного в исследовательскую практику Сысковым К.И., Островским В.С., Лапиной Н.А.. Критерий спекаемости пека связан с его способностью давать увеличение выхода кокса в присутствии наполнителя (припек) [12]. Высокомолекулярные и высококонденсированные соединения пека способствуют увеличению его вязкости, характеризуются высоким выходом коксового остатка и уменьшают относительный припек в присутствии наполнителя. Эта тенденция характерна и для каменноугольных и для нефтяных пеков. Таким образом, изучение молекулярно-массового состава различных пеков выявляет их неоднородность по фракционному составу при близких значениях стандартных показателей качества. Выявлено влияние молекулярно-массового состава на спекающие характеристики пека и параметры термического разложения. Выявленные тенденции могут служить основой для разработки новых качественных характеристик пека взамен традиционного компонентного анализа, или в дополнение к нему.

2.3. Структура фракций каменноугольного пека как спекающей добавки к угольной шихте

Использование спекающих добавок в угольных шихтах рассматривается в качестве одного из возможных путей решения проблемы расширения сырьевой

базы коксования за счет ввода в традиционные смеси низкосортных слабоспекающихся и газовых углей. При этом существенное влияние на процесс спекания и качество получаемого кокса оказывают структура и физико-химические свойства органических добавок. Ранее на примере нефтяных добавок на основе пеков и остатков термодеструктивной переработки гудронов было установлено, что коксующие свойства добавок определяются коксующими свойствами составляющих их фракций (α , β и γ) и наиболее прочный кокс может быть получен лишь при определенном соотношении фракций в составе добавки.

Было проведено аналогичное исследование образцов каменноугольного пека при широком варьировании его состава и свойств. В таблице 4 представлены данные некоторых опытов. Интервалы изменения показателей состава и свойств пеков были: содержание фракций (%) –карбены и карбоиды (α) 18,5–43,2; асфальтены (β) 34,5–41,6; мальтены (γ) 19,1–45; выход летучих веществ V^{daf} 27,3–73,2 %; температура размягчения по методу Кольца и Шара (КиШ) t_p 55–190°C; коксуемость по Конрадсону $K_1 = 42,5$ –87,1 % – значения индекса Рога (отн.ед.) при соотношении пека и антрацита 1:5 (RI 1:5) 38,5–70,9 и 2:4 (RI 2:4) 55–83,6.

Таблица 4 – Данные исследования образцов пека [12]

Опыт	Фракционный состав, %			V^{daf}	t_p °C	f_a	RI _{1:5}	RI _{2:4}	K_1
	α	β	γ						
1	18,5	36,5	45,0	73,2	55	0,924	38,5	50,5	42,5
2	20,5	37,0	42,5	67,5	63	0,932	39,5	53,7	43,5
3	21,0	37,0	42,0	67,3	70	0,938	38,9	55,3	43,2
4	20,5	39,0	40,5	65,7	77	0,945	42,6	56,5	45,3
5	21,3	36,9	41,8	64,3	80	0,941	44,5	57,2	45,0
6	21,5	38,0	40,5	63,9	81	0,945	44,2	54,2	50,1
7	22,1	37,5	40,4	63,6	86	0,956	55,2	55,3	51,1
8	23,2	36,1	40,7	56,3	103	0,963	58,3	67,5	64,7
9	27,6	32,7	39,7	44,8	135	0,971	65,5	71,3	72,4
10	30,5	35,1	34,4	40,5	150	0,969	69,3	75,2	76,6
11	35,6	41,6	22,8	29,7	180	0,990	70,9	82,6	86,1
12	41,1	39,8	19,1	28,7	188	0,990	67,1	83,6	87,1

Образцы пека характеризовали также степенью ароматичности f_a молекулярных структур, равной отношению содержания углерода в конденсированных блоках к общему содержанию углерода в пеках. С этой целью была использована корреляция между атомным соотношением Н/С и величиной f_a пеков и тяжелых продуктов ожижения угля. Значения f_a определены методом ЯМР С. Зависимость может быть представлена уравнением прямой линии:

$$f_a = 1,2034 - 0,4084(\text{Н/С}) \quad (7)$$

при среднеквадратическом отклонении $\sigma(f_a) = 0,032$, относительной погрешности $\Delta = 2,6 \%$ и коэффициенте корреляции $r = 0,942$.

По величине Н/С можно определить среднюю молекулярную массу соотносящих пека компонентов:

$$M = 550 - 324,7(\text{Н/С}), \quad (8)$$

где $O = 5,2$;

$$\Delta = 1,5\%;$$

$$r = 0,991;$$

Значению f_a – показатель степени конденсирования ароматических структур (отношение числа атомов ароматического углерода в узлах конденсации к общему их числу $C_{ар}$)

$$f_c = C_{конд}/C_{ар} = 436 + 0,617f_a, \quad (9)$$

где $\sigma = 0,012$;

$$\Delta = 2,4 \%;$$

$$r = 0,97$$

и отношение числа атомов углерода в алифатических цепях и нафтеновых циклах $C_{ал}$ к числу атомов ароматического углерода

$$C_{ал}/C_{ар} = 1,580 - 1,652f_a, \quad (10)$$

где $\sigma = 0,012$;

$$\Delta = 3,1 \%;$$

$$r = 0,995.$$

Значения степени ароматичности изученных каменноугольных пеков, оцененные по формуле (8), приведены в таблице 5. Соответствующие им величины параметров f_c и $C_{ал}/C_{ар}$ варьируют в интервалах 0,427–0,486 и 0–0,05. Молекулярные массы органических веществ пеков составляют $M = 328 - 385$.

Таблица 5 – Данные исследование образцов пека [13]

Опыт №	Фракционный состав			V^{daf}	$t_p, ^\circ C$	f_a	$RI_{1:5}$	$RI_{2:4}$	K_1
	α	β	γ						
1	18,5	36,5	45,0	73,2	55	0,924	38,5	50,5	42,5
2	20,5	37,0	42,5	67,5	63	0,932	39,5	53,7	43,5
3	21,0	37,0	42,0	67,3	70	0,938	38,9	55,3	43,2
4	20,5	39,0	40,5	65,7	77	0,945	42,6	56,5	45,3
5	21,3	36,9	41,8	64,3	80	0,941	44,5	57,2	45,0
6	21,5	38,0	40,5	63,9	81	0,945	44,2	54,2	50,1
7	22,1	37,5	40,4	63,6	86	0,956	55,2	55,3	51,1
8	23,2	36,1	40,7	56,3	103	0,963	58,3	67,5	64,7
9	27,6	32,7	39,7	44,8	135	0,971	65,5	71,3	72,4
10	30,5	35,1	34,4	40,5	150	0,969	69,3	75,2	76,6
11	35,6	41,6	22,8	29,7	180	0,990	70,9	82,6	86,1
12	41,1	39,8	19,1	28,7	188	0,990	67,1	83,6	87,1

При карбонизации каменноугольных пеков с целью получения углеродистых материалов и при сокарбонизации пекоугольных смесей с целью повышения коксуюемости угольных шихт важно сохранить планарность ароматических компонентов и упаковки их ассоциатов в виде стопок молекул [13]. Это способствует накоплению анизотропных жидкокристаллических образований и получению кокса с анизотропной оптической структурой. При стабилизации таких образований существенную роль играют водородо-донорные свойства соединений, входящих в состав пеков. Можно полагать, что наилучшим образом данным условиям будут удовлетворять пеки с оптимальным групповым фракционным составом [14], при котором обеспечивается набор соединений конденсированного ароматического и гидроароматического характера.

2.4. Оценка свойств фракции пека

В первом приближении полагали выполнимость аддитивной схемы типа:

$$Y = a\alpha + b\beta + c\gamma, (11)$$

где α , β , γ – массовые доли фракций в образце пека; a , b , c – соответствующие вклады этих фракций в формирование состава, структуры и свойств пеков.

Коэффициенты модели (11) непосредственно отражают обусловленный задачей физический смысл, являясь оценками свойств составляющих пеки фракций карбенов и карбоидов, асфальтенов и мальтенов. В связи с этим при обработке опытных данных по уравнению (5) на искомые величины, b , следует наложить ограничения, определяемые физически осуществимыми значениями переменных Y .

В рамках соотношения (11) возможен также учет изменчивости свойств фракций α , β и γ в ряду каменноугольных пеков, получаемых при варьировании технологического режима их получения (температура процесса, продолжительность термической обработки смолы) [15]. В частности, косвенным критерием меры "жесткости" технологического режима может служить содержание тяжелых фракций ($\alpha + \beta$) в пеке. Из рисунка 1 видно, что с ростом параметра $\alpha + \beta$ увеличивается температура размягчения пека и снижается выход остаточных летучих веществ (смотреть рисунок 1,б). Отсюда можно полагать, что свойства каждой из фракций должны изменяться по мере изменения общего содержания фракций α и β в составе пека.

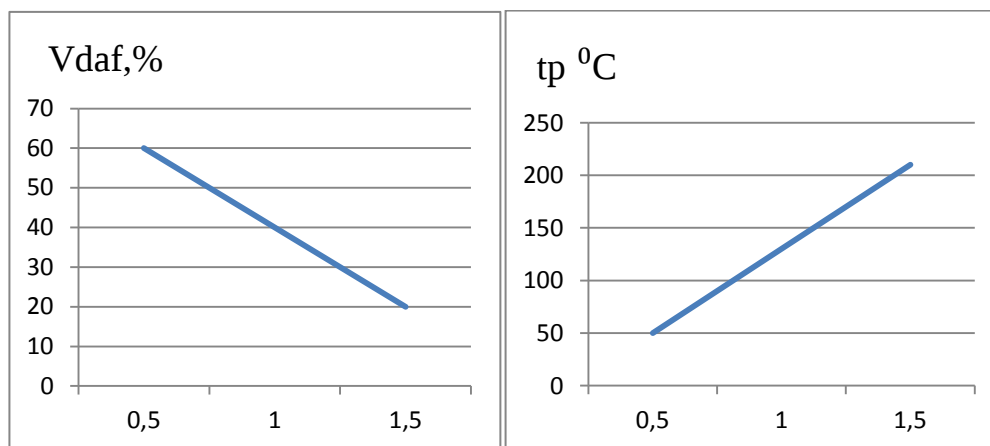


Рисунок 1 – Влияние содержания тяжелых фракций $\alpha + \beta$ на выход летучих веществ (а) и температуру размягчения каменноугольных пеков (б)

В предположении о линейном характере этих изменений вклады фракций в формирование свойств пека запишутся в виде:

$$a = a_0 + a_1(\alpha + \beta) \quad (12)$$

$$b = b_0 + b_1(\alpha + \beta) \quad (13)$$

$$c = c_0 + c_1(\alpha + \beta) \quad (14)$$

и модель (13) представиться неполной квадратичной формой по содержанию в пеке трех фракций:

$$Y = a_0\alpha + b_0\beta + c_0\gamma + (a_1 + b_1)\alpha\beta + c_1(\alpha\gamma + \beta\gamma) + a_1\alpha^2 + b_1\beta^2 \quad (15)$$

В отличие от традиционно применяемых в коксохимии регрессионных уравнений в (7) отсутствует так называемый "нулевой" член, задающий значение показателя Y при нулевых величинах независимых переменных. В рассматриваемой здесь задаче такая ситуация означает просто отсутствие пека, поэтому нет необходимости в соответствующем члене уравнения. Кроме того, коэффициенты, в (15) имеют простой физический смысл, определяемый соотношениями (13) и исходной моделью (11).

Результаты обработки всего массива данных по образцам пеков представлены в (таблица 6 приложения А), где даны интервальные и средние оценки состава, структурных параметров и свойств фракций. Интервалы изменения показателей соответствуют изменению параметра $\alpha + \beta$ в диапазоне 0,55–0,81 (массовые доли) [14].

Согласно данным (таблица 6 в приложении А) имеют место следующие закономерности. При увеличении параметра $\alpha + \beta$ повышается конденсированность всех фракций пека: увеличивается содержание углерода (кроме фракции γ), уменьшаются – водорода и атомное отношение Н/С.

Эти изменения фиксируются в повышении, как степени ароматичности фракций, так и индекса конденсированности ароматических колец. В случае фракций α и β наблюдается существенное снижение содержания гетеро- атомов N+O+S, тогда как во фракции γ их доля возрастает. Очевидно, что при повышении жесткости режима получения пеков часть гетероатомных структур

тяжелых фракций переходит в состав γ -фракции вследствие деструкции молекул в углеродных блоках с сохранением гетероорганических участков (по-видимому, устойчивой гетероциклической структуры). Именно поэтому наблюдается и небольшое снижение показателя C^{daf} для γ -фракции с 92,57 до 90,88 %.

Уплотнение структуры фракций подтверждает увеличение их средней молекулярной массы, а также уменьшение выхода летучих веществ и повышение индекса Рога и числа Конрадсона.

По средним значениям показателей (таблица 6 в приложении А) можно прийти к заключению, что в ряду фракций γ , β , α уменьшаются содержание водорода и атомное отношение Н/С; наблюдается рост ароматичности структуры и степени конденсированности ароматических колец; молекулы соединений, образующих фракции, увеличиваются в размерах: молекулярная масса увеличивается в среднем в 1,44 раза. При этом выход летучих веществ уменьшается в ~ 2 , а значение индекса Рога и числа Конрадсона – в ~ 3 раза.

По элементному составу и молекулярной массе фракций можно получить усредненную эмпирическую формулу соединений. Действительно, число атомов в n элементах Q составит

$$n(Q) = Q_{daf}M/100m_Q, (15)$$

где M – молекулярная масса;

Q_{daf} – содержание (%) элемента;

m_Q – его атомная масса.

Если принять для гетероатомов X эффективную атомную массу $m(X) = 21$ как среднее значение для атомов кислорода ($m(O) \approx 16$), азота ($m(N) \approx 14$) и серы ($m(S) \approx 32$), то показатели эмпирических формул веществ во фракциях пека на основе данных таблица 7 (для границ интервала составов по таблице 6). Приведенные в таблице 7 данные для атомов углерода и водорода в усредненных молекулах соединений пеков округлены до целых чисел, а для гетероатомов X – до десятых долей. Во всех случаях $n(X) < 1$. Это означает,

что лишь некоторые соединения содержат в своей структуре по одному гетероатому. При $n \geq 0,7$ можно принять, что гетероатомы содержатся практически в каждом соединении.

Таблица 7 – Закономерности после увеличения параметров [11]

Фракция	Параметры состава и структуры								
	Cdaf	H daf	Xdaf	M	n(C)	n(Cap)	n(Cal)	n(H)	n(X)
α	92,79	3,66	3,55	430	33	32	1	16	0,7
	95,09	3,52	1,39	454	36	36	0	16	0,3
β	91,21	4,16	4,63	350	27	26	1	15	0,8
	93,33	3,89	2,78	360	28	28	0	14	0,5
γ	92,57	6,24	1,19	295	23	20	3	18	0,2
	90,88	4,55	4,50	327	25	23	2	19	0,7

Структуры I—VI : (I) $C_{33}H_{16}X$, (II) $C_{36}H_{16}$, (III) $C_{27}H_{15}X$, (IV) $C_{28}H_{14}$, (V) $C_{23}H_{15}$, (VI) $C_{25}H_{10}X$ в известной мере являются гипотетическими, поскольку отвечают суммарным данным по элементному составу, степени ароматичности и конденсированности компонентов, образующих соответствующие фракции. Однако последние, в свою очередь, могут быть разделены на подфракции. В частности, из α -фракции могут быть выделены компоненты, нерастворимые в хинолине (так называемая $\alpha 1$ – фракция), с молекулярной массой ~ 1000 . В качестве молекулярной модели компонентов $\alpha 1$ -фракции рассматривался циркумовален $C_{66}H_{20}$. Молекула которого содержит 24 конденсированных ароматических ядра. Возможно также дальнейшее подразделение $\alpha 1$ -фракции на карбоидную и мезофазную под фракции, например с использованием реагентов, обладающих повышенными электроно-акцепторными свойствами в отношении высоко конденсированных ароматических компонентов [15].

Полученные нами структурные модели $C_{33}H_{16}X$ и $C_{36}H_{16}$ отображают, таким образом, типичные черты строения ароматических блоков α -фракции: наличие большого числа конденсированных шестичленных циклов с

компактной топологией молекул, способствующей сохранению планарного строения. При этом ужесточение режима получения пека способствует упорядочению структуры компонентов (переход $C_{33}H_{16}X \rightarrow C_{36}H_{16}$).

Общее построение молекул соединений сохраняется и в случае β -фракции (структуры $C_{27}H_{15}X$, $C_{28}H_{14}$), хотя по сравнению с компонентами α -фракции размеры системы конденсации ароматических ядер уменьшаются. Однако при переходе к γ -фракции (структуры $C_{23}H_{15}$, $C_{25}H_{10}X$) строение компонентов существенно меняется: резко снижается степень конденсации, структура приобретает частично гидроароматический характер.

В надмолекулярной структуре каменноугольных пеков значительную роль играют межмолекулярные взаимодействия [16]. Они способствуют появлению структурированных систем вследствие объединения плоских полициклических молекул в ассоциаты. Энергия когезии в бинарных ассоциатах, как показано в [11], увеличивается с ростом размеров молекул взаимодействующих ароматических соединений благодаря понижению электроно-донорных и повышению электроно-акцепторных свойств компонентов, измеряемых соответственно потенциалом ионизации и сродством к электрону. Косвенной мерой степени межмолекулярного взаимодействия (для индивидуальных веществ) могут служить также данные по энтальпиям и температурам фазовых переходов [17]. В случае пеков и их фракций степень ассоциации компонентов за счет межмолекулярных взаимодействий можно оценить по температуре размягчения, которая, в свою очередь, коррелирует с температурой стеклования.

Именно с этих позиций можно рассматривать установленную нами взаимосвязь между температурой размягчения пеков и содержанием в них тяжелых фракций. При уменьшении доли фракций $\alpha+\beta$ интенсивность межмолекулярных взаимодействий между соединениями этих фракций снижается как вследствие уменьшения размеров молекул, так и увеличения в составе пека легкой γ -фракции, низкомолекулярные соединения которой сами по себе отличаются меньшей степенью ассоциации и, кроме того, согласно [8],

нарушают межмолекулярные взаимодействия в более ассоциированных компонентах пека. Все это ведет к снижению его температуры размягчения.

В первом приближении можно учесть ассоциированность органических соединений во фракциях пека, полагая, что вероятность образования ассоциатов пропорциональна долям соответствующих фракций в составе пеков. Тогда показатели свойств пеков Y , зависящие от степени межмолекулярных взаимодействий (температура размягчения, индексы Рога и число Конрадсона), можно представить в виде:

Именно с этих позиций можно рассматривать установленную нами взаимосвязь между температурой размягчения пеков и содержанием в них тяжелых фракций. При уменьшении доли фракций α -ринтенсивность межмолекулярных взаимодействий между соединениями этих фракций снижается как вследствие уменьшения размеров молекул, так и увеличения в составе пека легкой γ -фракции, низкомолекулярные соединения которой сами по себе отличаются меньшей степенью ассоциации и, кроме того, согласно [14], нарушают межмолекулярные взаимодействия в более ассоциированных компонентах пека. Все это ведет к снижению его температуры размягчения.

В первом приближении можно учесть ассоциированность органических соединений во фракциях пека, полагая, что вероятность образования ассоциатов пропорциональна долям соответствующих фракций в составе пеков. Тогда показатели свойств пеков Y , зависящие от степени межмолекулярных взаимодействий (температура размягчения, индексы Рога и число Конрадсона), можно представить в виде:

$$Y = Y_{\alpha\alpha}\alpha^2 + Y_{\beta\beta}\beta^2 + Y_{\gamma\gamma}\gamma^2 + 2Y_{\alpha\beta}\alpha\beta + 2Y_{\alpha\gamma}\alpha\gamma + 2Y_{\beta\gamma}\beta\gamma \quad (16)$$

Здесь Y_{rs} – вклад в формирование показателя Y –ассоциатов соединений, входящих в состав фракций соответственно r и s . Численные значения вкладов Y_{rs} в показатели $t_p, RI_{1.5}, RI_{2.4}$ и K_1 приведены в таблице 8. Здесь же даны и статистические характеристики уравнения (16), указывающие на адекватность описания экспериментальных данных с помощью упрощенной модели учета ассоциированности надмолекулярной структуры фракций.

Таблица 8 – Значение статистических характеристик [17]

Межмолекулярные взаимодействия	Показатели			
	$T_p, ^\circ\text{C}$	$RI_{1:5}$	$RI_{2:4}$	K_1
$\alpha - \alpha$	- 114/0,2	-842/2,1	-602/1,7	-497/1,3
$\beta - \beta$	992/1,2	- 445/0,7	-701/1,3	-249/0,4
$\gamma - \gamma$	58/0,3	23/0,2	- 160/1,2	21/0,1
$\alpha - \beta$	-6/0,01	773/1,6	788/1,9	552/1,2
$\alpha - \gamma$	1131/3,9	208/1,1	34/0,2	307/1,6
$\beta - \gamma$	-848/2,1	- 54/0,2	253/1,1	- 128/0,5
Статистические параметры				
σ	5	4	3	4
$\Delta, \%$	4	5	4	5
r	0,993	0,942	0,961	0,977

Числитель – значение вклада Y_{rs} – знаменатель, t – критерий Стьюдента (отношение модуля Y_{rs} к его среднеквадратичной ошибки).

Как видно, для повышения температуры размягчения наибольшее значение могут иметь взаимодействия между молекулами различных соединений во фракции β (вклад $Y_{\beta\beta} = 992$), а также между молекулами соединений из α - и γ -фракции ($Y_{rs} = 1131$). Взаимодействия β - γ , напротив, приводят к снижению температуры размягчения ($Y_{\alpha\gamma} = -848$), что может быть объяснено, например, разрыхлением межмолекулярной упаковки. Так, добавление низкомолекулярного поглотительного масла, содержащего в основном нафталин, метил нафталины, аценафтен и флуорен, к высокотемпературному пеку в количестве 13,4 и 26 % способствовало снижению температуры размягчения со 142 до соответственно 88 и 47 °C [19].

Аналогичным образом с учетом значимости вкладов по критерию Стьюдента интерпретируется влияние межмолекулярных взаимодействий при формировании спекающей активности отдельных фракций, измеренной индексами Рога и коксообразования по Конрадсону.

При карбонизации каменноугольных пеков с целью получения углеродистых материалов и при со карбонизации пекаугольных смесей с целью

повышения коксуемости угольных шихт важно сохранение планарности ароматических компонентов и упаковки их ассоциатов в виде стопок молекул, что способствует накоплению анизотропных жидкокристаллических образований и получению кокса с анизотропной оптической текстурой. При стабилизации таких образований существенную роль играют водорододонорные свойства соединений, входящих в состав пеков [15]. Полагают, что наилучшим образом данным условиям будут удовлетворять пеки с оптимальным групповым фракционным составом, при котором обеспечивается набор соединений конденсированного ароматического и гидроароматического характера.

На основе разработанной ранее модели состава, структуры и свойств пековых композиций определены структурные характеристики, выход летучих веществ и кокса и показатели спекаемости α -, β - и γ -фракций широкого ряда каменноугольных пеков. Показана существенная роль межмолекулярных взаимодействий между соединениями различных фракций в формировании надмолекулярной структуры и определяемых ею физико-химических свойств пеков.

3.Экспериментальная часть

С целью изучения влияние каменноугольного пека на свойства кокса. Были проведены пять опытов: в первом опыте был рассмотрен результат при замене одной из марок К и Ж+КС, во втором опыте коксовали варианты шихт с различным содержанием пека, в последних двух опытах была добавлена нефтяная коксующаяся добавка. Коксование проводилось в коксовом отделении, полученные варианты шихт коксовали в специальных металлических ящиках.

3.1 Ящичное коксование

Для проведения ящичного коксования исследуемые шихты загружаются в металлические ящики, после загрузки они закрываются металлическими крышками, которые закрепляются к ящикам с помощью газосварки. Готовые ящики загружаются в промышленные коксовые печи. С помощью ящичного коксования процесс коксования исследуемых шихт протекает в реальных условиях, при которых проводят коксование угля в промышленных масштабах.

Размеры ящиков, в которых проводилось коксование, составляют 200х 200 х 285 мм. С каждой стороны ящика есть по 54 отверстий диаметр, которых составляет 15 мм. Масса одного ящика равняется 6,4 кг.

3.2Коксования вариантов шихт с заменой ,одного из марокК и Ж+КС, угольного концентрата на каменноугольный пек

Рассмотрим четыре варианта шихт были подобраны:

Вариант №1 – базовая шихта каменноугольного пека, используемая для промышленного производства кокса в Коксовом цехе №1 (КБ-1,2);

Вариант №2 – шихта с использованием 5 % пека каменноугольного вместо 5 % угольного концентрата ОФ «Денисовская» марки К;

Вариант №3 – шихта с использованием 5 % пека каменноугольного вместо 5%угольного концентрата ОФ «Сибиргинская» марки ОС;

Вариант №4 - шихта с использованием 5 % пека каменноугольного вместо 5% угольного концентрата ОФ «Томусинская» марки Ж+КС;

С целью формирования экспериментальных шихт с силосов ЗСУ Углеподготовительного цеха были отобраны пробы каждого компонента в количестве, необходимом для получения четырех проб кокса по 150 кг. В этот же период на смолоперерабатывающей установке произведен пек каменноугольный и отобрана проба массой 30 кг.

Согласно методике проведения ящичного коксования перед формированием шихт каждый компонент подвергался дроблению до достижения оптимального помола промышленной шихты 78–80%. Качественные характеристики угольных концентратов, входящих в состав шихт, и качественные характеристики пека каменноугольного приведены в таблицах 9,10

Таблица 9 – Качественные характеристики угольных концентратов

№ п/п	Наименование ОФ, разреза	Марка	Качественные характеристики					
			A ^a %	V ^{daf} , %	S ^d _t , %	P ^d , %	Y, мм	Si, ед
1	Межегейская	Ж+КС	10,4	35,5	0,49	0,033	25	7
2	Нерюнгри	Ж	15,0	34,6	0,35	0,006	37	7,5
3	Ульяновская	ж+гж	9,6	39,0	0,48	0,043	25	7,5
4	Эльгинская	гж	11,4	37,8	0,48	0,030	17	8
5	Беловская	гж	8,7	36,8	0,57	0,053	17	7,5
6	Сарбалинская	КС	8,3	26,8	0,32	0,028	8	2
7	Томусинская	ко+ос	10,6	22,8	0,38	0,040	9	3
8	Сибиргинская	ОС	8,5	21,6	0,30	0,057	9	6,5
9	Сибиргинская	КС	8,7	18,2	0,29	0,060	9	2,5
10	Распадская	КО	6,6	23,4	0,43	0,047	10	3
11	Денисовская	к	10,4	24,6	0,41	0,004	16	5
12	Сибирь	ОС	9,4	16,7	0,38	0,019	Менее 6	1

Таблица 10 – Качественные характеристики пека каменноугольного

Температура размягчения, °С	Вещества, нерастворимые в толуоле, %	Вещества, нерастворимые в хинолине, %	Выход летучих веществ, %	Зола, %	Коксовый остаток, %	Сера, %	Ионная трия, %
8	7	5	8	0,13	5,0	0,3	0,14

Далее были последовательно сформированы четыре варианта шихт. Состав экспериментальных шихт указан в таблице 11.

Таблица 11 – Составы экспериментальных шихт

№ п	Наименование ОФ, разреза	Марка	Состав, %			
			вариант №1	вариант №2	вариант №3	вариант №4
1	Межегейская	Ж+КС	12	12	12	77
2	Нерюнгри	Ж	33	33	33	3
3	Ульяновская	Ж+ГЖ	220	220	220	220
4	Эльгинская	ГЖ	77	77	77	77
5	Беловская	ГЖ	6	6	6	6
6	Сарбалинская	КС	6	6	6	6
7	Томусинская	Ж+КС	55	55	55	55
8	Сибиргинская	ОС	55	55	-	55
9	Сибиргинская	КС	13	13	13	13
10	Распадская	КО	110	110	110	110
11	Денисовская	К	110	5	110	110
12	Сибирь	ОС	33	33	33	33
13	Пек каменноугольный		-	5	5	5

В соответствии с ГОСТ 10742-71 от каждого варианта шихт была отобрана и подготовлена проба для проведения лабораторных испытаний и определения гранулометрического состава. Качественные показатели экспериментальных шихт приведены в таблице 12.

Таблица 12 – Качественные показатели экспериментальных шихт

№ п/п	Наименование показателя	Значения			
		вариант №1	вариант №2	вариант №3	вариант №4
1	Зольность A^d , %	9,9	9,2	9,1	9,2
2	Выход летучих веществ v^{daf}_0 , %	29,5	31,5	31,6	30,6
3	Содержание серы S^d , %	0,43	0,44	0,43	0,45
4	Содержание фосфора P^d , %	0,045	0,038	0,033	0,034
5	Индекс свободного вспучивания, Si , ед.	6,5	6,5	7	6,5
6	Усадка, X , мм	36	29	31	27
7	Толщина плас-	16	23	22	22

	тического слоя, Y, мм				
8	Содержание класса 0-3мм (помол), %	80	80	81	81

Экспериментальные шихты загружались в металлические ящики, которые после загрузки закрывались металлическими крышками. На стенках и крышках ящиков просверлены отверстия для выхода газов. Для предупреждения просыпания шихты через отверстия, стенки ящиков были проложены фильтровальной бумагой.

Ящичные коксования экспериментальных шихт производилось в Коксовом цехе №1. Оборот коксовых печей составлял 21–22 часа. Подготовленные ящики были помещены в камеры коксования с коксовой стороны коксовой батареи №1. Основные параметры технологического режима коксования приведены в таблице 13.

Таблица 13 – Основные параметры технологического режима

Параметры коксования	КБ№1		КБ№2	
	м/с	к/с	м/с	к/с
1 Коксование шихты без добавления пека (вариант №1) (оборот печей 22 часа)				
Температура в контрольных вертикалах	1185	1215	1186	1220
Давление в газосборнике	18	18	18	18
Разрежение в боровах	24,5	24,0	26,5	25,0
Коэффициент избытка воздуха	1,62	1,65	1,60	1,63
2 Коксование шихты с добавлением 5% пека вместо марки К (вариант №2) (оборот печей 22 часа)				
Температура в контрольных вертикалах	1181	1212	1188	1218
Давление в газосборнике	18	18	18	18
Разрежение в боровах	24,5	23,5	26,0	25,0
Коэффициент избытка воздуха	1,71	1,68	1,70	1,68
3 Коксование шихты с добавлением 5% пека вместо марки (вариант №3) (оборот печей 22 часа)				
Температура в контрольных вертикалах	1185	1212	1191	1217
Давление в газосборнике	18	18	18	18
Разрежение в боровах	24,5	23,0	27,0	25,0
Коэффициент избытка воздуха	1,67	1,65	1,65	1,63
4 Коксование шихты с добавлением 5% пека вместо марки Ж+КС				

(вариант №4)				
11.05.2010г. (оборот печей 21 часа)				
Температура в контрольных вертикалах	1186	1216		
Давление в газосборнике	18	18		
Разрежение в боровах	25,5	23,0		
Коэффициент избытка воздуха	1,69	1,65		

После окончания коксования ящики вместе с готовым коксом выдавались в тушильный вагон. После мокрого тушения, используемого в Коксовом цехе №1, ящики дотушивались технической водой.

Качество кокса, полученного в результате ящичного коксования экспериментальных шихт, приведено в таблице 14.

Таблица 14 – Качественные характеристики полученного кокса

№	Наименование показателя	Значения			
		Кокс из шихты №1	Кокс из шихты №2	кс из шихты №3	кс из шихты №4
1	Влажность, W^T , %	7,3	3,5	0,5	0,8
2	Зольность A^d , %	12,6	11,8	11,9	11,6
3	Выход летучих веществ v_{daf0} , %	0,5	0,5	0,5	0,4
4	Содержание серы S^d , %	0,45	0,45	0,46	0,45
5	Содержание фосфора P^d , %	0,048	0,052	0,044	0,050
6	Механическая прочность, M25, %	88,0	89,0	88,9	87,9
7	Истираемость M10, %	7,9	7,9	8,2	8,4
8	CSR, %	53,4	58,1	60,1	59,6
9	CRI, %	32,7	28,1	27,1	26,7
10	Гранулометрический				
11	состав, %				
12	>80 мм	72,2	57,7	59,0	66,1
13	60-80 мм	20,1	29,2	28,6	22,0
14	40-60 мм	4,3	9,7	8,7	7,6
15	25-40 мм	0,9	1,2	0,9	1,2
16	10-25 мм	0,9	0,8	0,9	1,2
17	0-10 мм	1,6	1,4	1,9	1,9

3.3. Коксование шихт с различным содержанием каменноугольного пека

Произведены опытно-промышленные коксования трех вариантов экспериментальных угольных шихт с участием пека в количестве: 5% (вариант №1), 7% (вариант №2) и 10% (вариант №3).

Для коксования использовался каменноугольный гранулированный пек марки Б, поступивший на ОАО «Алтай-Кокс». Отбор проб пека для определения качественных характеристик производился из вагонов в соответствии с ГОСТ 10742-71 « Угли бурые, каменные, антрацит, горючие сланцы и угольные брикеты. Методы отбора и подготовки проб для лабораторных испытаний». Лабораторные испытания производились в соответствии с ГОСТ 10200-83 «Пек каменноугольный электродный». Качественные характеристики пека, полученные при входном контроле на ОАО «Алтай-Кокс» и данные сертификата о качестве поставщика приведены в Таблице 15.

Таблица 15 – Качественные характеристики пека каменноугольного

№ п/п	Наименование показателя	Значение, %	
		ОАО «Алтай-Кокс»	ОАО «Кемерово-Кокс»
1	Температура размягчения, °С	73	75
2	Вещества, нерастворимые в толуоле, %	27	28
3	Вещества, нерастворимые в хинолине, %	8	6
4	Выход летучих веществ, %	60	59
5	Зольность, %	0,22	0,2
6	Коксовый остаток, %	52	-
7	Содержание серы, %	0,3	-

С целью получения оптимального уровня спекаемости экспериментальной угольной шихты, предварительно в лабораторных условиях

были подобраны варианты шихт с добавками каменноугольного пека. Жирные угли, а так же угли, имеющие высокий уровень спекаемости, были заменены на угли коксовые. Доля снижения спекающих углей, а так же доля участия каменноугольного пека подбиралась в лабораторных условиях, как уже сказано выше до оптимального уровня спекаемости. Разработанные составы шихт были сдозированы в Углеподготовительном цехе №2 и поданы на коксование на коксовую батарею. Составы экспериментальных шихт и базовой шихты, используемой для производства кокса в Коксовом цехе №3, приведены в Таблице 16.

Таблица 16 – Составы базовой и экспериментальных шихт

№ п/п	Наименование ОФ, разреза, компонента	марка	Состав, %			
			Базовая шихта	Вариант №1	Вариант №2	Вариант №3
1	Ульяновская	ГЖ	5	8	8	8
2	Эльгинская	ГЖ	5	3	3	3
3	Антоновская	ж+гж	23	19	14	9
4	Комсомолец	г	3	3	3	3
5	Беловская	Ж+КС	9	0	0	0
6	Шестаки	ж	3	-	-	-
7	Томусинская	ОС+КО	7	7	7	7
8	Ульяновская	ко	3	3	3	3
9	Эльгинская	ОС	3	-	-	-
10	Беловская	ко	7	10	12	14
11	Междуречье	ОС	12	13	13	13
12	Сарболинская	КС	10	19	19	19
13	Денисовская	К+КО	5	5	6	6
14	Коксовая	к	5	5	5	5

Качественные показатели угольных концентратов, используемых для опытно-промышленного коксования, приведены в таблице 17.

Таблица 17 – Качественные характеристики угольных концентратов

№ п/п	Наименование ОФ, разреза	Марка	Качественные характеристики						
			W_b^r %	A^d %	V^{dat} %	s_b^d %	P^d %	Y , мм	Si , ед
1	Ульяновская	ГЖ	7,0	12,6	38,8	0,44	0,026	17	7
2	Эльгинская	ГЖ	11,3	8,9	38,2	0,50	0,030	19	7,5
3	Беловская	Ж+ГЖ	11,3	10,9	38,5	0,42	0,036	20	7
4	Комсомолец	Г	8,3	8,8	43,4	0,71	0,012	15	5,5
7	Беловская	ос+ко	7,6	8,9	19,5	0,37	0,032	10	3
8	Шестаки	КО	4,2	8,8	25,4	0,35	0,045	7	1,5
10	Томусинская	КО	8,1	6,6	23,7	0,40	0,054	9	3

11	Междуречье	ОС	5,0	10,1	21,8	0,30	0,065	9	5,5
12	Сарболинская	КС	5,4	9,9	18,8	0,33	0,036	8	3
13	Денисовская	К+КО	12,2	10,7	24,9	0,30	0,039	11	3,5
14	Коксовая	К	9,3	10,2	23,3	0,52	0,004	15	6

Подача экспериментальных шихт осуществлялась в обычном порядке, подготовка угольной шихты осуществлялась по схеме ДТП (дробление шихты). Отбор проб производился автоматическим пробоотборником, установленным на конвейере У-15 участка шихтоподачи углеподготовительного цеха №2. Качественные показатели шихт приведены в таблице 18.

Таблица 18 – Качественные показатели базовой и экспериментальных шихт

№	Наименование показателя	Значения, %				Метод испытаний
		Базовая шихта	Вариант №1	Вариант №2	Вариант №3	
1	Влажность, %	7,8	7,8	7,0	7,8	ГОСТ 11014-2001
2	Зольность A^a , %	9,8	9,6	9,4	8,9	ГОСТ 11022-95
3	Выход летучих веществ V^{daf} , %	29,8	28,4	28,9	28,6	ГОСТ 6382-2001
4	Содержание серы S^d , %	0,41	0,33	0,37	0,36	ГОСТ 2059-95
5	Содержание фосфора, %	0,037	0,029	0,031	0,033	ГОСТ 1932-93
6	Индекс свободного вспучивания, Si , ед.	5	5	5	5	ГОСТ 20330-91
7	Усадка, X , мм	35	28	32	27	ГОСТ 1186-87
8	Толщина пластического слоя, Y , мм	15	19	19	18	ГОСТ 1186-87
9	Содержание класса 0-3мм (помол), %	75	80	79	74	ГОСТ 2093-82
10	Содержание класса 0-0,5мм, %	37,5	38,4	43,1	39,5	ГОСТ 2093-82
11	Насыпной вес, кг/м	797	800	800	799	МИ 019-000-031-2007
12	Соотношение спекающих и коксовых компонентов, %	48:52	38:62	35:65	33:67	

Коксование проводилось в Коксовом цехе №3 (КБ №5) согласно составленному Порядку проведения работ по экспериментальному коксованию шихты с добавлением гранулированного пека.

Таблица 19 – Основные параметры технологического режима

Вариант шихты	Коэф-т избытка воздуха	Температуры в контр, вертикалах (средние)	№ загруженных печей (печи загружены полным весом)	Объем загруженной шихты (тн)
Базовый	м/с 1,59 к/с 1,58	м/с 1202°C к/с 124°C	531,533, 535,537, 539, 541,543, 545, 547, 549, 551, 553	
Вариант №1		м/с 120 ГС к/с 1240°C	578, 580, 582, 501, 503, 505, 507, 509, 511, 513, 515,517,519, 521,523,525	967
Вариант №2		м/с 1202°C к/с 124 ГС	556, 558, 560, 562, 564, 566,568,570, 572,574, 576, 578, 580,582, 501, 503,505	960
Вариант №3		м/с 1204°C к/с 1243°C	542, 544, 546, 548, 550, 552,554, 556, 558, 560, 562, 564, 566, 568, 570, 572, 574	1260

Оборот коксовых печей составлял 27 часов. Основные параметры технологического режима коксования приведены в Таблице 20 (приложение-Б).

Отбор проб полученного кокса доменного 25 мм и более осуществлялся в соответствии с ГОСТ 2669-81 «Кокс каменноугольный, пековый и антрацит». Правила приемки при погрузке в вагоны пробоотборником, установленном на конвейере К-11, пробоотборник работал в автоматическом режиме. Подготовка проб для лабораторных испытаний производилась согласно ГОСТ 23083-78 «Кокс каменноугольный, пековый и антрацит. Методы отбора проб для испытаний». Качество кокса доменного, полученного в результате опытно-промышленного коксования, и качество кокса из базовой шихты приведено в Таблице 21.

Таблица 21 – Качественные характеристики полученного кокса доменного 25мм и более

№ п/п	Наименование показателя	Значения, %				Метод испытаний
		Кокс из базовой шихты	Кокс из шихты вариант №1	Кокс из шихты вариант №2	Кокс из шихты вариант №3	
1	Влажность, W^r_t , %	3,2	3,3	2,3	3,6	ГОСТ 27588-91
2	Зольность A^d , %	12,8	12,6	12,4	12,0	ГОСТ 11022-95
3	Выход летучих веществ V^{daf} , %	0,5	0,4	0,5	0,5	ГОСТ 6382-2001

4	Содержание серы S^d , %	0,46	0,41	0,37	0,38	ГОСТ 2059-95
5	Содержание фосфора P^d , %	0,047	0,037	0,040	0,039	ГОСТ 1932-93
6	Механическая прочность, M25, %	82,3	83,3	83,8	84,0	ГОСТ 5953-93
7	Истираемость M10, %	8,8	8,0	7,6	6,8	ГОСТ 5953-93
8	CSR, %	53,1	59,9	64,4	66,9	ASTM 5341
9	CR1, %	32,4	28,2	26,0	24,5	ASTM 5341
10	Гранулометрический состав, %					ГОСТ 5954.1-91
	>100 мм	2,7	0,8	1,8	1,3	
	>80 мм	16,4	10,0	12,2	9,4	
	60-80 мм	21,1	19,6	17,6	17,3	
	40-60 мм	35,0	38,3	40,4	40,9	
	25-40 мм	20,5	25,2	23,0	25,7	
	<25 мм	4,3	6,2	5,0	5,4	

Выводы

1. Экспериментальные шихты вариантов №2, 3, 4 характеризуются повышенным значением показателя толщины пластического слоя ($y=22-23$ мм). Отмечается снижение выхода валового кокса из экспериментальных шихт, с добавкой пека каменноугольного по сравнению с выходом кокса из базовой шихты, в среднем на 3–5%, что связано с повышенным выходом летучих веществ ($V^{daf}=30,6-31,6\%$) экспериментальных шихт вариантов № 2, №3, №4.

Шихт, содержащих добавки пека, отмечается снижение крупности кокса. Содержание класса >80 мм уменьшилось на 13,2–14,5% при коксовании шихт вариантов №2, №3. При этом увеличилось содержание класса крупности 60-80 мм, 40 – 60 мм на 8,5 – 9,1% и 4,4 – 5,4% соответственно. Содержание классов крупности 25–40 мм и менее 25 мм осталось без изменений. При коксовании шихты варианта №4 содержание крупных классов >80 мм уменьшилось на 6,1%, содержание класса крупности 60 – 80 мм, 40 – 60 мм на 1,9% и 3,3% соответственно.

Незначительное увеличение механической прочности кокса по параметру M25 в среднем на 0,9 – 1,0% из шихт вариантов № 2, № 3. Параметр

механической прочности кокса, полученного из шихты варианта № 4, остался на прежнем уровне по сравнению с коксом из базового варианта вследствие снижения оборота коксовых печей до 21 часа при проведении данного эксперимента. Кокс, полученный из шихт с добавками пека каменноугольного, имеет более высокие значения показателя горячей прочности (CSR). При замене 5% Денисовская марки К пеком каменноугольным показатель CSR увеличился на 4,7%, при замене 5% Сибиргинская марки ОС - на 6,7%, при замене 5% Томусинской марки Ж+КС - на 6,2%. Также наблюдается уменьшение показателя реакционной способности (CRI) на 4,6%, 5,6% и 6,0% соответственно.

Показатель зольности кокса, полученного из вариантов № 2, № 3, № 4, снизился на 0,7–1,0%, по сравнению с зольностью кокса, полученного из базовой шихты варианта №1, что объясняется более низкими значениями зольности шихт данных вариантов вследствие использования пека каменноугольного с зольностью на уровне 0,13%.

2. В экспериментальных шихтах с добавками пека каменноугольного вариантов №1, №2, №3 снижено содержание спекающих компонентов до 38, 35, 33%, по сравнению с базовой шихтой, содержащей 48% спекающих компонентов. Несмотря на это, показатель толщины пластического слоя в данных шихтах увеличился на 3 – 6мм ($y = 18 - 19$ мм), по сравнению с базовой шихтой ($y=15$ мм).

Экспериментальные шихты вариантов №1, №2, №3 характеризуются пониженной зольностью по сравнению с зольностью базовой шихты, что связано с тем, что были выведены из состава шихты высокозольные жирные и спекающие угли Шестаки Ж, ЦОФ «Беловская» Ж+КС, ОФ «Антоновская» Ж+ГЖ, а так же с тем, что, зольность пека каменноугольного имеет низкое значение ($A_d=0,22\%$). Соответственно, при коксовании данных шихт, зольность полученного кокса доменного 25мм и более снизилась на 0,2–0,8%.

Показатель механической прочности M25 в коксе доменном, полученном из экспериментальных шихт, увеличился на 1,7%, при этом показатель

истираемости M10 снизился на 2%. Лучшие показатели, по данным параметрам, в коксе, полученном из шихты с содержанием 10% пека каменноугольного (84,0% и 6,8%).

Показатель горячей прочности кокса (CSR) существенно увеличился на 6,8–13,8 % при введении в состав шихты каменноугольного пека, по отношению к базовой шихте. Максимальное увеличение горячей прочности произошло в коксе, полученном из шихты с 10% участием каменноугольного пека.

Реакционная способность кокса (CRI) так же существенно снизилась с 32,4% до 24,5%, разница составила 8%. Изменился гранулометрический состав кокса, произошло снижение крупных классов, существенно выросло содержание фракции 40–60мм, а так же выросла фракция 25 – 40 мм. Незначительно снизилось содержание серы с 0,46% до 0,37%.

Промышленные эксперименты с использованием каменноугольного гранулированного пека в качестве компонента шихты показали хорошие результаты. Особенно следует отметить положительное влияние каменноугольного пека на горячую прочность и реакционную способность кокса.

4.1. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проекта

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование. Целевой рынок – сегменты рынка, на котором будет продаваться в будущем разработка. В свою очередь, сегмент рынка – это особым образом выделенная часть рынка, группы потребителей, обладающих определенными общими признаками. Для данного проекта целевым рынком являются металлургические предприятия.

В ВКР был рассмотрен технологический процесс введения добавки пека в угольную шихту с целью получить более дешевый каменноугольный кокс, сохранившего свои первоначальные характеристики.

Сегментирование – это разделение покупателей на однородные группы, для каждой из которых может потребоваться определенный товар (услуга). Сегментируем рынок услуг по получению каменноугольного кокса по двум критериям: расположение и отрасль.

В нашем случае покупателем продукции может выступить любое металлургическое предприятие. В качестве производителя кокса в работе рассматривался "ОАО Алтай-Кокс".

4.2. Анализ конкурентных технических решений

При помощи оценочной карты, приведенной в таблице 22, проводится детальный анализ конкурирующих разработок по проектированию систем автоматического управления газораспределительными станциями. Анализ позволяет провести сравнительную оценку эффективности разработки и ее конкурентов, выявить направления будущей работы по повышению эффективности.

Таблица 22 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок) [18]

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентно-способность		
	Макс-5	Бф	Бк1	Бк2	Кф	Кк1	Кк2
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Повышение производительности труда на объекте	0,2	5	5	5	1	1	1
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,1	4	3	4	0,4	0,3	0,4
3. Помехоустойчивость	0,06	5	4	4	0,3	0,24	0,24
4. Энергоэкономичность	0,02	3	2	3	0,06	0,04	0,06
5. Надежность	0,02	5	4	3	0,1	0,08	0,06
6. Скорость проектной работы	0,1	4	3	2	0,4	0,3	0,2
7. Безопасность	0,07	4	4	4	0,28	0,28	0,28
8. Простота обслуживания	0,04	3	3	4	0,12	0,12	0,16
Экономические критерии оценки эффективности							
9. Конкурентоспособность продукта	0,06	4	4	4	0,24	0,24	0,24
10. Уровень проникновения на рынок	0,08	2	3	3	0,16	0,24	0,24
11. Цена	0,15	5	3	3	0,75	0,45	0,45
12. Предполагаемый срок эксплуатации	0,05	3	3	3	0,15	0,15	0,15
13. Послепродажное обслуживание	0,05	3	4	4	0,15	0,2	0,2
Итого	1	50	46	46	4,11	3,64	3,68

Исходя из анализ можно сказать, что разработка является конкурентно способной. Наиболее сильные стороны проекта – его цена и надежность, к плохо проработанным факторам можно отнести уровень проникновения разработки на рынок.

4.3. SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Результаты первого этапа SWOT-анализа представлены в таблице 23.

Таблица 23 – Матрица SWOT [18]

	Сильные стороны проекта: С1. Стоимость проекта внедрения технологии ниже, чем у конкурентов	Слабые стороны проекта: Сл1. Переконструирование предприятия Сл2. Отрицательное
--	---	--

	С2. Уменьшение затрат на сырье С3. Повышение производительности труда	влияние на экологию Сл3. Низкая заработная плата
Возможности: В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ В2. Появление повышенного спроса на металлургический кокс В3. Внедрения технологии на других предприятиях «НЛМК»	1. Постоянный поиск путей снижения затрат времени 2. Продолжение научных исследований с целью усовершенствования имеющейся технологии 3. Замена привозного сырья на производимое	1. Поиск заинтересованных лиц 2. Разработка собственного научного исследования 3. Приобретение образцов исследуемого оборудования
Угрозы: У1. Введение дополнительных технических требований к оборудованию У2. Изменение нормативной документации. У3. Компенсация сотрудникам за вредность	1. Постоянное отслеживание изменений в российском законодательстве и в технических разработках. 2. Сертификация продукции 3. Мониторинг заинтересованности предприятий в продукте	1. Повышение безопасности работников. 2. Поиск решений в целях улучшения экологии 3. Поиск новых потребителей

4.4. Оценка готовности проекта к коммерциализации

На какой бы стадии жизненного цикла не находилась научная разработка полезно оценить степень ее готовности к коммерциализации и выяснить уровень собственных знаний для ее проведения (или завершения). Степень готовности научной разработки к коммерциализации и уровень собственных знаний для ее проведения заполняется в специальной форме (таблица 24).

Таблица 24 – Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации[18]

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1.	Определен имеющийся научно-технический задел	5	5
2.	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического	5	4

	задела		
3.	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	5	4
4.	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	5	4
5.	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	4	3
6.	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	3	3
7.	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	5	4
8.	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	5	3
9.	Определены пути продвижения научной разработки на рынок научной разработки на рынок	5	4
10.	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	4	4
11.	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	4	4
12.	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	4	3
13.	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	4	4
14.	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	5	4
15.	Проработан механизм реализации научного проекта	4	4
	ИТОГО БАЛЛОВ	67	60

По результатам оценки разработка является перспективной

4.5. Инициатива проекта

Группа процессов инициации состоит из процессов, которые выполняются для определения нового проекта или новой фазы существующего. В рамках процессов инициации определяются изначальные цели и содержание и фиксируются изначальные финансовые ресурсы.

Заинтересованные стороны проекта, которые будут взаимодействовать и влиять на общий результат научного проекта указаны в таблице 25.

Таблица 25 – Заинтересованные стороны проекта [18]

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
«ОАО Алтай-Кокс»	Производство более дешёвой продукции
Новолипецкий металлургический комбинат	Уменьшение затрат на производства кокса

В таблице 26 представлена информация о иерархии целей проекта и критериях достижения целей. Цели проекта включают цели в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Таблица 26 – Цели и результат проекта [18]

Цели проекта:	Уменьшение себестоимости продукции Сбережение запасов спекающих углей
Ожидаемые результаты проекта:	Увеличение объемов производства Уменьшение затрат на коксующиеся угли
Критерии приемки результата проекта:	
Требования к результату проекта:	Требование:
	Качества продукции
	Показатели продукции

На данном этапе работы необходимо решить следующие вопросы: кто будет входить в рабочую группу данного проекта, определить роль каждого участника в данном проекте, а также прописать функции, выполняемые каждым из участников и их трудозатраты в проекте.

Эта информация представлена в таблице 27.

Таблица 27 –Рабочая группа проекта [18]

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудо-затраты, час.
1	Левашова Альбина Ивановна, НИ ТПУ, кафедра ХТТ и ХК, доцент, к.т.н.	Руководитель	Координация деятельности проекта	250
2	Неудахин Владимир Алексеевич ,НИ ТПУ, кафедра ХТТ и ХК, студент	Исполнитель	Выполнение ВКР	620
ИТОГО:				870

4.6.Ограничения и допущения проекта

Ограничения проекта – это все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта, а также «границы проекта» – параметры проекта или его продукта, которые не будут реализованных в рамках данного проекта (таблица 45).

Таблица 28 – Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/ допущения
3.1. Бюджет проекта	296732179
3.1.1. Источник финансирования	«ОАО Алтай-Кокс»
3.2. Сроки проекта:	11.01.16-25.05.16
3.2.1. Дата утверждения плана управления проектом	11.01.16
3.2.2. Дата завершения проекта	25.05.16

В рамках планирования научного проекта необходимо построить календарный и сетевой графики проекта.

Линейный график представлен в виде таблицы (таблица 29).

Таблица 29 – Календарный план проекта [18]

Код работы (из ИСР)	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников (ФИО ответственных исполнителей)
1	Введение	7	01.02.2015	08.02.15	Неудахин В.А.
2	Составление технического задания	9 8	09.02.2015	18.02.15	Неудахин В.А Левашова А.И.
3	Литературный обзор	16	19.02.2015	05.03.15	Неудахин В.А
4	Разработка проекта	63 15	06.03.2015	08.05.15	Неудахин В.А. Левашова А.И.
5	Результаты и обсуждения	9 7	9.05.2015	18.04.15	Неудахин В.А Левашова А.И.
6	Оформление пояснительной записки	16 5	19.05.2015	01.06.15	Неудахин В.А Левашова А.И.
	Итого:	124			

Для иллюстрации календарного плана проекта приведена диаграмма Ганта, на которой работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ. Для удобства отображения каждый месяц разделен на декады (таблица 30)

Таблица 30 – Календарный план-график проведения НИОКР [18]

Вид работ	Исполнители	Т _к , Раб. дн.	Продолжительность выполнения работ														
			февра ль			март			апрель			май			июнь		
			1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Введение	Специалист	7	■														
Составление технического задания	Бакалавр	9		■													
	Руководитель			■													
Литературный обзор	Бакалавр	16			■												
Эксперименталь ная часть	Бакалавр Руководитель	63				■	■	■	■	■	■	■	■	■			
Результаты и обсуждения	Бакалавр Руководитель	9										■	■				
Оформление пояснительной записки	Бакалавр Руководитель	16										■	■	■			

■ Бакалавр

■ - Руководитель

4.6. Бюджет научного исследования

В процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты НТИ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);

- накладные расходы.

4.7. Расчет материальных затрат НТИ

При планировании бюджета научного исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения.

В процессе формирования бюджета, планируемые затраты группируются по статьям, представленным в таблице (таблица 31).

Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты
(за вычетом отходов)

Таблица 31 – Группировка затрат по статьям [18]

Затраты по статьям					
Сырье, материалы (за вычетом возвратных отходов), покупные изделия и полуфабрикаты	Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Итого плановая себестоимость
5500	296610350	88607	13291.1	27721,5	296732179
5500	296610350	88607	13291.1	27721,5	296732179
5500	296614350	88607	13291.1	27721,5	296736179

Для выполнения данной ВКР требуются материальные затраты на:

- приобретаемые со стороны сырье и материалы, необходимые для создания научно-технической продукции;
- покупные материалы, используемые в процессе создания научно-технической продукции для обеспечения нормального технологического процесса и для упаковки продукции или расходуемых на другие производственные и хозяйственные нужды;

- покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, подвергающиеся в дальнейшем монтажу или дополнительной обработке;
- сырье и материалы, покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, используемые в качестве объектов исследований (испытаний) и для эксплуатации, технического обслуживания и ремонта изделий – объектов испытаний (исследований).

Материальные затраты НТИ представлены в таблица 32.

Таблицы 32 – Материальные затраты[18]

Наименование	Единица измерения	Количество			Цена за ед., руб.			Затраты на материалы, (З _м), руб.		
		Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Уголь	кг	150	150	150	50	50	50	5250	5250	5250
Каменноугольный пек	кг	10	10	10	25	25	25	250	250	250
НКД	кг	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Итого								5500	5500	5500

4.8.1. Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме (таблица 33). Определение стоимости спецоборудования производится по действующим прейскурантам, а в ряде случаев по договорной цене.

Таблица 33 – Расчет затрат по статье «Спецоборудование для научных работ» [18]

№	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, руб.	Сумма амортизационных отчислений, руб.
---	---------------------------	----------------------------	---------------------------------	--

1	Коксовыталкиватель	1	154388000	77191400
2	Двересъемная машина	1	136240000	6812000
3	Ящик мелаллический	15	24000	1200
4	Дробилка щековая	1	218000	10900
5	Лопата	1	350	17,5
6	Муфельная печь	1	240000	12000
7	Установка реакционной способности кокса	1	5000000	250000
8	Барaban для определение CRI	1	500000	25000
Итого			296610350	84302518

4.8.2. Основная заработная плата исполнителей темы

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НТИ, (включая премии и доплаты) и дополнительную заработную плату. Также включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 –30 % от тарифа или оклада:

$$Z_{zn} = Z_{осн} + Z_{дон} , \quad (17)$$

где $Z_{осн}$ –основная заработная плата;

$Z_{дон}$ – дополнительная заработная плата (12 – 20 % от $Z_{осн}$).

Основная заработная плата ($Z_{осн}$) руководителя от предприятия рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p , \quad (18)$$

где $Z_{осн}$ –основная заработная плата одного работника;

$Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб;

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно – техническим работником, рабочих дней (таблица 54).

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_{\text{д}}}, \quad (19)$$

где Z_m –месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года;

$F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно – технического персонала, рабочих дней.

В таблице 34 приведен баланс рабочего времени каждого работника НТИ.

Таблица 34 – Расчёт основной заработной платы [18]

Показатели рабочего времени	Руководитель	Бакалавр
Календарное число дней	140	140
Количество нерабочих дней выходные дни: праздничные дни:	16 6	16 6
Потери рабочего времени отпуск: невыходы по болезни:	0 0	0 0
Действительный годовой фонд рабочего времени	118	118

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{mc} \cdot (1 + k_{np} + k_{\text{д}}) \cdot k_p, \quad (20)$$

где Z_{mc} –заработная плата по тарифной ставке, руб.;

k_{np} –премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от Z_{mc});

$k_{\text{д}}$ – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5;

k_p –районный коэффициент, для Заринска равный 1,3.

Таблица 35 – Расчет основной заработной платы [18]

Категория	$З_{мс}$, руб.	k_o	k_p	$З_m$, руб.	$З_{он}$, руб.	T_p , раб.дн.	$З_{осн}$, руб.
Руководитель							
ППС3	28264,9	0,35	1,3	60628,2	1808,37	14	
Специалист							
ППС1	16874,0	0,35	1,3	36194,7	1020,81	62	63290,22

4.8.3. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина этих отчислений определяется по формуле (21):

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{дон}), \quad (21)$$

где $k_{внеб}$ —коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды.

На 2014 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. Однако на основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2014 году водится пониженная ставка – 30,5%.

Отчисления во внебюджетные фонды представлены в таблице 36.

Таблица 36 – Отчисления во внебюджетные фонды [18]

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель проекта	25317,18	3797,577
Бакалавр	63290,22	9493,533

Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,300	
Итого:	88607,4	27721,5

4.8.4. Организационная структура проекта

В практике используется несколько базовых вариантов организационных структур: функциональная, проектная, матричная (таблица 37).

Таблица 37 – Выбор организационной структуры научного проекта [18]

Критерии выбора	Функциональная	Матричная	Проектная
Степень неопределенности условий реализации проекта	Низкая	Высокая	Высокая
Технология проекта	Стандартная	Сложная	Новая
Сложность проекта	Низкая	Средняя	Высокая
Взаимозависимость между отдельными частями проекта	Низкая	Средняя	Высокая
Критичность фактора времени (обязательства по срокам завершения работ)	Низкая	Средняя	Высокая
Взаимосвязь и взаимозависимость проекта от организаций более высокого уровня	Высокая	Средняя	Низкая

Вывод: на основе проведенного анализа выбора организационной структуры научного проекта - наиболее выгодной является проектная структура.

4.8.5. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Эффективность научного ресурсосберегающего проекта включает в себя социальную эффективность, экономическую и бюджетную эффективность. Показатели общественной эффективности учитывают социально-экономические последствия осуществления инвестиционного проекта как для общества в целом, в том числе непосредственные результаты и затраты проекта, так и затраты, и результаты в смежных секторах экономики, экологические, социальные и иные внеэкономические эффекты.

Показатели экономической эффективности проекта учитывают финансовые последствия его осуществления для предприятия, реализующего данный проект. В этом случае показатели эффективности проекта в целом характеризуют с экономической точки зрения технические, технологические и организационные проектные решения.

Бюджетная эффективность характеризуется участием государства в проекте с точки зрения расходов и доходов бюджетов всех уровней.

4.8.6. Оценка абсолютной эффективности исследования

Динамические методы оценки инвестиций базируются на применении показателей:

- чистая текущая стоимость (NPV);
- срок окупаемости (PP);
- внутренняя ставка доходности (IRR);
- индекс доходности (PI).

Все перечисленные показатели основываются на сопоставлении чистых денежных поступлений от операционной и инвестиционной деятельности, и их приведении к определенному моменту времени. Теоретически чистые денежные поступления можно приводить к любому моменту времени (к будущему либо текущему периоду). Но для практических целей оценку инвестиции удобнее осуществлять на момент принятия решений об инвестировании средств.

4.8.7. Чистая текущая стоимость (NPV)

Данный метод основан на сопоставлении дисконтированных чистых денежных поступлений от операционной и инвестиционной деятельности.

Если инвестиции носят разовый характер, то NPV определяется по формуле

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{ЧДП_{опt}}{(1+i)^t} - I_0 \quad (22)$$

$ЧДП_{оп_t}$ – чистые денежные поступления от операционной деятельности;

I_0 – разовые инвестиции, осуществляемые в нулевом году;

t – номер шага расчета ($t = 0, 1, 2 \dots n$);

n – горизонт расчета;

i – ставка дисконтирования (желаемый уровень доходности инвестируемых средств).

Чистая текущая стоимость является абсолютным показателем. Условием экономичности инвестиционного проекта по данному показателю является выполнение следующего неравенства: $NPV > 0$.

Чем больше NPV , тем больше влияние инвестиционного проекта на экономический потенциал предприятия, реализующего данный проект, и на экономическую ценность этого предприятия.

Инвестиционный проект считается выгодным, если NPV является положительной.

План денежных потоков представлен в таблице 38.

Таблица 38 – Расчет чистой текущей стоимости по проекту в целом [18]

Наименование показателя	Годы ($t=0, 1, 2 \dots n$)				
	0	1	2	3	4
Выручка от реализации, тыс.руб		1201200,0	1201200,0	1201200,0	1201200,0
Инвестиционные издержки, тыс.руб.	- 296732,18				
Амортизация оборудования, тыс.руб.	0	84302,5	84302,5	84302,5	84302,5
Сырье, тыс.руб.	0	5,5	5,5	5,5	5,5
ФОТ, тыс.руб.	0,0	277,2	277,2	277,2	277,2
Операционные затраты, тыс. руб	0,0	84585,2	84585,2	84585,2	84585,2
Прибыль до вычета налогов, тыс.руб.	0,0	1116614,8	1116614,8	1116614,8	1116614,8
Налоги	0,0	223323,0	223323,0	223323,0	223323,0
Чистая прибыль, тыс.руб.	0,0	893291,8	893291,8	893291,8	893291,8

Чистый денежный поток ЧДП=Пчист+Ам	- 296732,18	977594,3	977594,3	977594,3	977594,3
Коэффициент дисконтирования (приведения при $i=0,20$)	1	0,833	0,694	0,579	0,482
Дисконтированный чистый денежный поток	- 296732,18	814336,1	678450,5	566027,1	471200,5
То же нарастающим итогом (NPV)	- 296732,18	517603,91	1196054,4	1762081,5	2233281,97

Таким образом, чистая текущая стоимость по проекту в целом составляет 2233281,97 д.ед., что позволяет судить о его эффективности.

4.8.8. Дисконтированный срок окупаемости (PP)

Метод расчета срока окупаемости инвестиций PP состоит в определении того периода, через который первоначальные инвестиции будут возвращены прибылью или чистыми денежными поступлениями.

Чистые денежные поступления (прибыль) по годам неравномерны. В данной ситуации срок окупаемости устанавливается путем определения кумулятивного (накопленного) денежного потока (таблица 39).

Таблица 39 – Дисконтированный срок окупаемости [18]

№	Наименование показателя	Шаг расчета				
		0	1	2	3	4
1.	Дисконтированный чистый денежный поток ($i=0,10$)	-299553,85	814336,10	67850,50	566027,1	471200,50
2.	То же нарастающим итогом	-299553,85	517603,90	1196054,0	1762082,0	2233281,97
3.	Дисконтированный срок окупаемости	$PP_{диск} = 1 + 517603,9 / 67850,5 = 8,6$ года				

4.8.9. Внутренняя ставка доходности (IRR) $PP_{диск}$

Для установления показателя чистой текущей стоимости (NPV) необходимо располагать информацией о ставке дисконтирования, определение которой является проблемой, поскольку зависит от оценки экспертов. Поэтому, чтобы уменьшить субъективизм в оценке эффективности инвестиций на

практике широкое распространение получил метод, основанный на расчете внутренней ставки доходности (IRR).

Между чистой текущей стоимостью (NPV) и ставкой дисконтирования (i) существует обратная зависимость. Эта зависимость следует из таблицы 40 и графика, представленного на рисунке 2.

Таблица 40 – Зависимость NPV от ставки дисконтирования [18]

№ п/п	Наименование показателя	0	1	2	3	4	NPV
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Чистые денежные потоки	296732,18	977594,30	977594,30	977594,30	977594,30	
2	коэффициент дисконтирования						
	$i=0,2$	1	0,833	0,694	0,578	0,482	
	$i=0,3$	1	0,769	0,592	0,455	0,35	
	$i=0,4$	1	0,714	0,51	0,364	0,26	
	$i=0,5$	1	0,667	0,444	0,295	0,198	
	$i=0,6$	1	0,625	0,39	0,244	0,095	
	$i=0,7$	1	0,588	0,335	0,203	0,07	
3	Дисконтированный денежный поток						
	$i=0,2$	- 296732,18	814336,05	678450,44	565049,51	471200,45	2748,7 7
	$i=0,3$	- 296732,18	751770,02	578735,83	444805,41	342158,01	1841,0 5
	$i=0,4$	- 296732,18	698002,33	498573,09	355844,33	254174,52	1155,9 9
	$i=0,5$	- 296732,18	652055,40	434051,87	288390,32	193563,67	630,8
	$i=0,6$	- 296732,18	610996,44	381261,78	238533,01	92871,46	92,7
	$i=0,7$	- 296732,18	574825,45	327494,09	198451,64	68431,60	-247,38

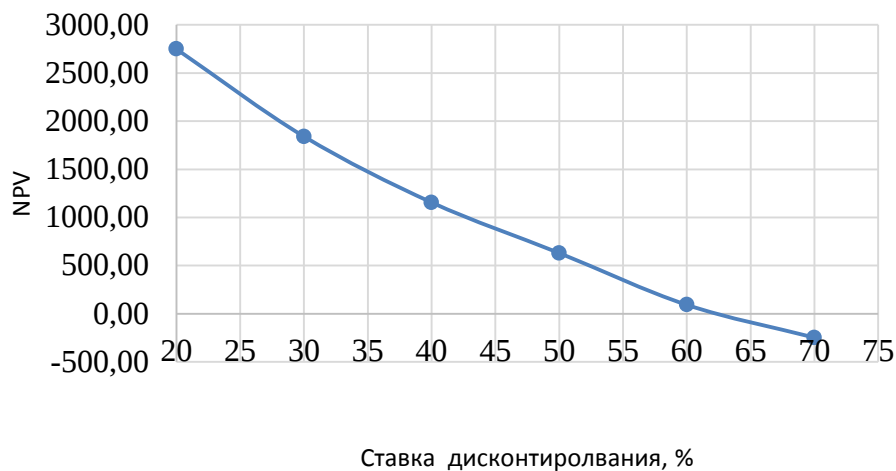


Рисунок 2 – Зависимость NPV от ставки дисконтирования

Из таблицы и графика следует, что по мере роста ставки дисконтирования чистая текущая стоимость уменьшается, становясь отрицательной. Значение ставки, при которой NPV обращается в нуль, носит название «внутренней ставки доходности» или «внутренней нормы прибыли». Из графика получаем, что IRR составляет 0,63.

Индекс доходности (рентабельности) инвестиций (PI)

Индекс доходности показывает, сколько приходится дисконтированных денежных поступлений на рубль инвестиций.

Расчет этого показателя осуществляется по формуле:

$$PI = \sum_{t=1}^n \frac{ЧДП_t}{(1+i)^t} / I_0, \quad (23)$$

где I_0 – первоначальные инвестиции.

Следовательно:

$$PI = \frac{814336,1 + 678450,5 + 566027,1 + 471200,5}{296732,18} = 10.4 \quad (23)$$

4.8.9. Оценка сравнительной эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат двух вариантов исполнения научного исследования (таблица 41). Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения[17].

Таблица 41 – Группировка затрат по статьям аналогов разработки [18]

Вариант исполнения аналога №	Сырье, материалы (за вычетом возвратных отходов), покупные изделия и полуфабрикаты	Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	Основная заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Итого плановая себестоимость
1	5500	296610350	88607,4	28387,5	296732179
2	5500	296614350	88607,4	28387,5	296736179

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\phi}^p = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}} = \frac{296732179}{296732179} = 1 \quad (24)$$

$$I_{\phi}^{a1} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}} = \frac{296732179}{296732179} = 1 \quad (25)$$

$$I_{\phi}^{a2} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}} = \frac{296732179}{296736179} = 0.99, \quad (26)$$

где I_{ϕ}^p – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i-го варианта исполнения;

$\Phi_{\max}$ – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное удешевление стоимости разработки в разы.

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_m^a = \sum_{i=1}^n a_i b_i^a \quad (27)$$

$$I_m^p = \sum_{i=1}^n a_i b_i^p \quad (28)$$

Где I_m – интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов; a_i – весовой коэффициент i -го параметра;

b_i^a , b_i^p – балльная оценка i -го параметра для аналога и разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности приведен в таблице 42. Таблица 42 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта [18]

Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2
1. Способствует росту производительности труда	0,25	5	5	3
2. Удобство в эксплуатации	0,15	4	4	4
3. Надежность	0,20	5	5	5
4. Воспроизводимость	0,25	4	4	4
5. Материалоемкость	0,15	5	5	4
ИТОГО	1	4,6	4,6	4,3

Аналог 1 – ОАО «Кемерово Кокс»;

Аналог 2 – ОАО «НЛМК».

$$I_m^p = 5 \times 0,25 + 4 \times 0,15 + 5 \times 0,20 + 4 \times 0,25 + 5 \times 0,15 = 4,6, \quad (29)$$

$$I_1^A = 5 \times 0,25 + 4 \times 0,15 + 5 \times 0,25 + 4 \times 0,25 + 5 \times 0,15 = 4,6, \quad (30)$$

$$I_2^A = 3 \times 0,25 + 3 \times 0,15 + 4 \times 0,20 + 4 \times 0,25 + 4 \times 0,15 = 3,8, \quad (31)$$

Интегральный показатель эффективности разработки ($I_{финр}^p$) и аналога ($I_{финр}^a$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{финр}^p = \frac{I_m^p}{I_{\phi}^p} = \frac{4,6}{0,61} = 7,5, \quad (32)$$

$$I_{финр}^{a1} = \frac{I_1^{a1}}{I_{\phi}^{a1}} = \frac{4,6}{1} = 4,5 \quad (33)$$

$$I_{финр}^p = \frac{I_m^{a2}}{I_{\phi}^{a2}} = \frac{3,8}{0,29} = 13,1 \quad (34)$$

Сравнение интегрального показателя эффективности текущего проекта и аналогов позволит определить сравнительную эффективность проекта. Сравнительная эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{финр}^p}{I_{финр}^{a1}} = \frac{7,5}{4,5} = 1,6 \quad (35)$$

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{финр}^p}{I_{финр}^{a2}} = \frac{7,5}{13,1} = 0,57 \quad (36)$$

где $\mathcal{E}_{cp}$ – сравнительная эффективность проекта;

$I_{тэ}^p$ – интегральный показатель разработки;

$I_{тэ}^a$ – интегральный технико-экономический показатель аналога.

Таблица 43 - Сравнительная эффективность разработки [18]

№ п/п	Показатели	Аналог 1	Разработка	Аналог 2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1	0,70	0,29
2	Интегральный показатель	4,6	4,6	3,8

	ресурсоэффективности разработки			
3	Интегральный показатель эффективности	4,5	6,57	13,1
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,67	0,57	

Аналог 1 – ОАО «Кемерово Кокс»;

Аналог 2 – ОАО «НЛМК».

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет судить о приемлемости существующего варианта решения поставленной технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

Вывод: в ходе проведения анализа показателей эффективности инвестиций были проведены расчеты чистой текущей стоимости (NPV) – 2233281,97 тыс.руб. Таким образом, данный инвестиционный проект считается выгодным, так как NPV является положительной величиной. Дисконтированный срок окупаемости проекта (PPдск) составил 8,6 года. Так как выполняется условие неравенства $IRR > i$, а внутренняя ставка доходности (IRR) – 0,63, инвестиционный проект экономически оправдан. Индекс доходности (PI) составил 10,4 (данная величина превышает единицу), соответственно данная инвестиция приемлема.

5.Социальная ответственность

Коксохимическое производство – отрасль черной металлургии, занимающиеся переработкой угля методом коксования. Основной продукт этой отрасли – кокс. Для улучшения качества этого продукта используют различные способы, введение каменноугольного пека в состав угольной шихты является рентабельным способом улучшения качества кокса и уменьшение его себестоимости. Группа коксовых печей образуют коксовую батарею, высота батареи около 7 метров ширина около 14 метров. Батарея находится в открытой окружающей среде. Ее обслуживают коксовые машины, каждая из которых выполняет свои функции: загрузка шихты, выдача кокса, направление кокса в тушильный вагон и тушение кокса. Все эти технологические операции отрицательно влияют на здоровья рабочих и окружающую среду.

5.1.Производственная безопасность

Таблица № 44 – Опасные и вредные факторы возникающие при выполнении работ по оценки технологического состояния коксового цеха №1 [20]

Источник фактора наименование вида работ	Факторы (по ГОСТ 12.003-74)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
1. Не герметичность коксовой печи, загрузка печи, выдача кокса. 2. Поток тепла при открывании двери печи 3. Коксовая печь 4. Работы машин и механизмов (компрессорные станции, двигателя и т.д.) 5. Чистка печей от смолы и графитовых отложений. 6. Работа производится на крупногабаритном	1. Повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны 2. Повышенная температура воздуха рабочей зоны. 3. Повышенная температура поверхностей оборудования, материалов 4. Повышенный уровень шума, вибрации. 5. Токсические вещества.	1. Электро-безопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов. 2. Острые кромки, заусеницы и шероховатость на поверхностях инструментов, заготовок и оборудования 3. Расположение рабочего места на значительной высоте относительно	1. ГОСТ 12.1.005-88 «ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» 2. ГОСТ 12.1.016-79 Воздух рабочей зоны. Требования к методикам измерения концентраций вредных веществ 3. ГОСТ 31439-2011 Оборудование и компоненты, предназначенные для применения в потенциально взрывоопасных средах. 4. ГОСТ 12.1.003-83 Уровни шума и вибрации на рабочих местах 5. ГОСТ 12.0.004-90 «ССБТ. ... Острые кромки, заусеницы и шероховатость на поверхностях заготовок,

оборудовании. 7.Коксовый газ выделяется в процессе коксования 8. Обслуживание коксовой батареи коксовыми машинами		земли (пола); 4.Движущиеся машины и механизмы.	инструментовиоборудования. » 6. Федеральный закон от 21 июля 1997 г. N 116-ФЗ О промышленной безопасности опасных производственных объектов 7.ГОСТ 12.1.005 предельно допустимая концентрация (далее по тексту - ПДК) в воздухе рабочей зоны по наиболее токсичному компоненту - оксиду углерода - 20 мг/м ³ , 4-й класс опасности. 8.ГОСТ 12.0.002-80 Движущиеся машины и механизмы
---	--	---	--

Повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны

Технологический процесс не может обеспечить отсутствия выбросов в окружающую среду. Из-за не герметичности коксовой двери, или призагрузки печи, выбросов остатка коксового газа при отключении печи от газосборника. ГОСТ 12.1.005-88

Для защиты от запыленности и загазованности использовать респираторы, защитные очки. Для защиты кожных покровов работающие в цехе обеспечиваются смывающими и обезвреживающими средствами согласно Типовым нормам бесплатной выдачи работникам смывающих и (или) обезвреживающих средств [2].

Таблица № 45 – Состав обратного коксового газа ГОСТ 12.1.005

Компоненты	Содержание, %
Водород	53-60
Метан	23-28
Сумма предельных и непредельных углеводородов	2,5-3,5
Окись углерода	5,0-9,5
Двуокись углерода	2,0-3,5
Азот	4-9
Кислород	не более 1,0

Коксовый газ – токсичен. Согласно ГОСТ 12.1.005 предельно допустимая концентрация в воздухе рабочей зоны по наиболее токсичному компоненту - оксиду углерода - 20 мг/м^3 , 4-й класс опасности.

Для предотвращения загазованности и образования взрывоопасных смесей необходимо [2]:

- следить за герметичностью газопроводов, газовой арматуры, находящихся под газом;
- не допускать разрежения в газопроводах и арматуре, работающей под давлением;
- следить за исправностью гидрозатворов, особенно в тоннелях и других закрытых помещениях;
- в помещениях, в которых расположены газопроводы, газовая арматура и аппараты, находящиеся под газом, обмен воздуха должен быть не менее чем восьмикратный.
- контролировать содержание окиси углерода (СО) в воздухе рабочей зоны в боковых тоннелях, в помещении под верхней фундаментной плитой и в помещении газовых задвижек автоматическим газоанализатором

Повышенная температура воздуха рабочей зоны

При чистки коксовых дверей, откосов печей температура рабочей зоны значительно увеличивается, поскольку эти процедуры происходят при взаимодействии окружающей среды с открытой камерой коксования, температура в которой может превышать более 1100°C [2] .

Использование специальных средств индивидуальной защиты: перчатки, спец одежда предназначенная для металлургических предприятий, очки, головные уборы, обувь.ГОСТ12.1.016-79

Повышенная температура поверхностей оборудования, материалов

Коксовые машины предназначены для работы в среде где температура воздействия на их поверхности может превышать свыше 1000°C .В результате чистки рамы коксовой печи от графита и смолы, и уборки остатка кокса после его выдачи. Механизмы подвержены повышению температуры их поверхности,

так как это происходит при открытой коксовой печи температура в которой выше 1100°C [2].

Использовать плотные перчатки, верхонки. ГОСТ31439-2011. Температура поверхности оборудования не должна превышать более 318K. Воздуховоды необходимо располагать от электропроводке и электрооборудования на расстоянии не более 0,5м.

Повышенный уровень шума, вибрации

В процессе эксплуатации коксовых машин и механизмов превышаются допустимые уровни шума в результате непрерывной работы: маслостанций, двигателей, компрессорных станций. При выдачи кокса штанга коксовыталькивателя испытывает сопротивление в результате появляется вибрация [2].

При зависании шихты в угольной башни или в одном из бункеров углезагрузочной машины, машинист включает вибратор с целью обрушения слежавшегося угля [2].

Согласно ГОСТ 12.1.003-83запрещается кратковременное пребывание в зонах с октавными уровнями звукового давления свыше 135дБ в любой октавной полосе.

По временным характеристикам вибрация является непостоянная, по чистоте низкочастотная с предельным максимальным уровнем 1– 4Гц для общей вибрации 8-16 Гц для локальных вибраций

Для предотвращения шума используют: беруши, наушники. Для уменьшения воздействия вибрации работникам выдаётся специальная обувь [3].

Токсические вещества

Таблица 46 – ПДК некоторых вредных веществ, выделяющихся в процессе коксования [20].

Наименование вещества	Предельно допустимые концентрации, мг/м ³	Преимущественное агрегатное состояние в условиях производства	Класс опасности
1 Оксид углерода	20	пары и/или газы	IV
2 Аммиак	20	пары и/или газы	IV
3 Бензол	5	пары и/или газы	II
4 Фенолы	1,0	пары и/или газы	II
5 Нафталин	20	пары и/или газы	IV
6 Пиридин	5	пары и/или газы	II
7 Пыль углепородная	10	аэрозоль фиброгенного действия	IV
8 Пыль коксовая	6	аэрозоль фиброгенного действия	IV

Согласно ГОСТ 12.1.005

Для защиты от воздействия вредных и опасных производственных факторов работающие в цехе обеспечиваются специальной одеждой, специальной обувью и другими средствами индивидуальной защиты согласно Типовым нормам бесплатной выдачи специальной одежды, специальной обуви и других средств индивидуальной защиты работникам горной и металлургической промышленности и металлургических производств других отраслей промышленности, занятым на работах с вредными и опасными условиями труда, а также на работах, выполняемых в особых температурных условиях или связанных с загрязнением.

Для защиты кожных покровов работающие в цехе обеспечиваются смывающими и обезвреживающими средствами согласно Типовым нормам бесплатной выдачи работникам смывающих и обезвреживающих средств.

Использование противогаза, респиратора. Следить за герметизацией оборудования и исправностью оборудования.

Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека.

Коксовые машины работают за счет электричества. Для питания коксовых машин электричеством, по всему периметру коксовой батареи расположены троллеи и токоведущие узлы, которые позволяют приводить в действия механизмы. В случае поломки коксовых машин, или аварий есть вероятность воздействия на рабочего этого опасного фактора [3].

Расстояние между не огражденными не изолируемыми токоведущими частями, расположенными на высоте менее 2,2м по обе стороны прохода должна быть не менее: 1,5м при напряжении ниже 660В; 2,0м при напряжении 660В и выше. Расстояние от наиболее выступающих не огражденных не изолируемых токоведущих частей, расположенных на доступной высоте (менее 2,2 м) по одну сторону прохода, до противоположенной стены или оборудования, не имеющего не огражденных не изолированных токоведущих частей, должна быть не менее: при напряжении ниже 660 В - 1м при длине щита до 7м и 1,2м при длине щита более 7м; при напряжении 660В и выше - 1,5м[3];

Запрещается прикасаться непосредственно или какими-либо предметами к токопроводящим устройствам электроустановок[3].

Острые кромки, заусеницы и шероховатость на поверхностях инструментов, заготовок и оборудования

При чистке дверей, рам коксовых печей с помощью заточенных ломов, чистелок, имеющих заточенную поверхность. ГОСТ 12.0.004-90

Ряды номинальных значений параметра шероховатости R_a поверхности образца в зависимости от воспроизводимого способа обработки и базовой длины для оценки шероховатости должен соответствовать указанным в таблице № 47.

Таблица 47 – Оценки шероховатости ГОСТ 12.0.004-90

Способы обработки	Параметры шероховатости Ra, мкм	Базовая длина, lмм
Шлифование	0,050	0,25
	0,100	0,25
	0,200	0,25
	0,400	0,80
	0,800	0,80
	1,600	0,80
	3,200	2,50
Точение и расточек	0,4	0,8
	0,8	0,8
	1,6	0,8
	3,2	2,5
	6,3	2,5
	12,5	2,5
Фрезерование	0,4	0,8
	0,8	0,8
	1,6	2,5
	3,2	2,5
	6,3	8,0
	12,5	8,0
Строгание	0,8	0,8
	1,6	0,8
	3,2	2,5
	6,3	2,5
	12,5	8,0
	25,0	8,0
Электроэрозионная обработка	0,4	0,8
	0,8	0,8
	1,6	0,8
	3,2	2,5
	6,3	2,5
	12,5	2,5

Работы выполнять используя средства индивидуальной защиты: перчатки, верхонки.

Расположение рабочего места на значительной высоте относительно земли (пола)

В результате работы на коксовой батарее высота которой составляет более 7 метров. ГОСТ 12.4.089 работать на высоте без средств индивидуальной защиты запрещается

Ширина одиночных проходов к рабочим местам и на рабочих местах должна быть не менее 0,6 м, расстояние от пола прохода до элементов перекрытия (далее - высота в свету) - не менее 1,8 м;

Рабочие площадки и проходы, необходимые для обслуживания оборудования, размещающего на высоте. Должны иметь ограждения не ниже 1 метра.

Во избежание падений работник должен быть внимателен при подъёме по лестнице, держаться за поручни, дисциплинированное поведение при нахождении на площадке обслуживания.

Движущиеся машины и механизмы

Из-за непрерывной работы коксовых машин и механизмов, существует угроза нанесения вреда здоровью рабочего. ГОСТ 12.0.002-80

Все механизмы должны иметь устройства, исключающие ошибочное включение электродвигателя при ручном управлении приводами. Коксовые машины должны быть оборудованы следующей сигнализацией: звуковой которая срабатывает при движении машины и световой направление движение машины должно освещаться красным фонарём. Механизм передвижения коксовых машин должен обеспечивать автоматическую блокировку механизмов, включение которых при передвижении коксовых машин может привести к поломке оборудования или аварии [19].

Поворотные ограждения, запрещающие выход в опасные места, должны быть заблокированы с механизмами таким образом, чтобы при открытых ограждениях исключалась возможность включения соответствующих механизмов.

Площадки всех коксовых машин должны иметь перильное ограждение со сплошным бортом по низу высотой 0,14 м. Машины коксовых батарей должны быть оборудованы тормозными устройствами, обеспечивающими их надёжную фиксацию [20].

При работе коксовых машин в режиме дистанционного управления в местах возможного появления людей должны вывешиваться знаки: «Машина работает автоматически» [20]

5.2. Экологическая безопасность

Основными видами производственных отходов, образующихся в коксовом отделении являются: пыль каменноугольная, пыль коксовая, промасленные отходы (ветошь, песок), отходы ремонта коксовых печей.

Отходы ремонта коксовых печей – бой огнеупорного кирпича [19].

Таблице № 48 – Сведения об отходах приведены ПБ 11-219-98 Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны [20]

Наименование отхода	Место (процесс) образования	Класс опасности	Состав отхода, %	Место утилизации (размещения)
1	2	3	4	5
1 Пыль каменноугольная	Очистка угольной башни	IV	Углерод - 43,5 Сера - 0,3 Летучие - 41,7 Зольность – 14,5	В процессе очистки поступает в бункер УЗМ и дозируется в составе шихты в коксовую печь
3 Пыль коксовая	Гидроуборка помещений и работа вентиляционных систем	IV	Углерод - 80,3 Сера - 0,5 Летучие - 1,2 Зольность - 18	Вывоз на открытую площадку для шлама, где временно размещают до реализации потребителю или возвращается в производство (дозируется в шихту)
4 Обтирочный материал, загрязнённый маслами (содержание масел менее 15 %)	Проведение ремонтов, уборка разливов масел	IV	Хлопок - 73 Углеводороды - 12 Вода - 15	Вывоз на отвал химических отходов
5 Песок загрязнённый маслами (содержание масел менее 15 %)	Проведение ремонтов, уборка разливов масел	IV	Оксид кремния - 86 Углеводороды - 14	Вывоз на отвал химических отходов
6 Бой от печей металлургических процессов (отходы ремонта коксовых печей, котлов Теплоэлектроцентрали)	Ремонт коксовых печей	IV	Кирпич - 85 Глина - 2 Песок - 3 Цемент - 10	Вывоз на объект для размещения отходов (котлован под ТБО) сторонней организацией на основании

				договора об оказании услуг по сбору и вывозу, или реализация потребителю.
--	--	--	--	---

Загрязнение приземного слоя воздуха, создаваемое выбросами предприятия коксового газа, зависит от метеорологических условий. В отдельные периоды, когда метеорологические условия способствуют накоплению вредных веществ в приземном слое атмосферы, концентрации примесей в воздухе могут резко возрастать.

Под регулированием выбросов вредных веществ в атмосферу понимается их кратковременное сокращение в периоды неблагоприятных метеорологических условий, приводящих к формированию высокого уровня загрязнения воздуха. Регулирование выбросов осуществляется с учетом прогноза НМУ на основе предупреждений о возможном опасном росте концентраций примесей в воздухе с целью его предотвращения [1].

5.3.Организационные мероприятия, позволяющие уменьшить выбросы вредных веществ в атмосферу

- контроль бесперебойной работы пылеулавливающего оборудования;
- контроль установленного режима сгорания отопительного газа, теплотехническим режимом коксовых батарей, гидравлическим режимом газосборников, отсосом газа от батарей;
- контроль параметров пара, подаваемого для пароинжекции газов загрузки;
- прекратить выполнение мероприятий, проведение которых требует оформления специальных разрешений (остановка газопылеулавливающих сооружений для выполнения профилактических работ, пропарка трубопроводов, технологического оборудования и резервуаров).

Мероприятия, осуществление которых позволяет снизить выбросы загрязняющих веществ за счет временного сокращения производительности предприятия:

- увеличение временного интервала между операциями загрузки печей шихтой, выдачи и тушения кокса (увеличение периода коксования);
- сокращение подачи газа на обогрев.

Данные меры помогут значительно уменьшить выбросы в окружающую среду[19].

5.4.Охрана поверхностных и подземных вод.

Для воды которая предназначена для тушения кокса и первичного охлаждения коксового газа. На предприятии существуют отдельные системы ливневой, фенольной, шламовой канализации. Запрещается смешивание вод из этих отдельных систем канализации [2].

Ливневые воды с территории промышленной площадки коксового отделения по системе ливневой канализации поступают в шламонакопитель №1 шламового хозяйства. Хозяйственно-бытовые сточные воды по системе ХБК передают на городские очистные сооружения без предварительной очистки.

Шламовые воды от вентиляционных систем, гидроуборки помещений в Коксовом отделении поступают в отстойник очистных сооружений шламовых вод угле подготовительного цеха, где осуществляется первичное отстаивание от взвешенных веществ, с последующей перекачкой в шламонакопитель № 1.

Технологические сточные воды посредством системы фенольной канализации поступают на участок биохимической очистки сточных вод Цеха улавливания. На биохимической установке осуществляется механическая очистка сточных вод от смол и масел, и биохимическая очистка от фенолов, роданидов и цианидов фенол- и роданразрушающими микроорганизмами. Вода после биохимической очистки используется, в том числе, и для мокрого тушения кокса. Загрязненная вода после тушения поступает в отстойники тушильной башни. На биохимической установке происходит механическая очистка сточных вод от смол и масел, а также фенолов, роданидов и цианидов фенол- и родан-разрушающими микроорганизмами[19].

5.5. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.

Перечень возможных аварий, которые могут иметь экологические последствия и мероприятия по их предотвращению или сокращению вредного воздействия представлены в таблице 49.

Таблица 49 – Перечень возможных аварий с экологическими последствиями [20]

Возможная авария	Характер воздействия на окружающую среду	Мероприятие
1 Прекращение отсоса коксового газа из газосборников коксовых батарей	Выделение в атмосферу сырого коксового газа через крышки стояков, загрузочных люков, уплотняющих рамок и планирных лючков, через свечи газосборников	Коксовый газ сжигается на свечах газосборников, выясняется и устраняется причина, вызвавшая срыв отсоса
2 Прекращение тяги в отопительной системе коксовых батарей вследствие самопроизвольного закрытия шиберов тяги общего боров	Выделение в атмосферу продуктов горения отопительного газа	На период ремонтных работ по восстановлению тяги, прекращается подача газа на обогрев печей
3 Прекращение подачи аммиачной воды на орошение газосборника	Выделение в атмосферу сырого коксового газа через свечи газосборников и заливные воронки	Коксовый газ сжигается на свечах газосборника. Подается пар в газосборник, выясняется причина и если невозможно возобновить орошение газосборника длительное время аммиачной водой, то подать на орошение техническую воду
4 Авария у потребителей коксового газа, исключая его прием	Выделение в атмосферу избыточного количества коксового газа	Коксовый газ сжигается на Газосбросном устройстве
5 Разрыв газопровода	Выделение в атмосферу коксового газа	Отключается поврежденный участок газопровода от газовой сети

5.6. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Работники предприятия «ОАО Алтай-Кокс» работающие в коксовом отделении, это квалифицированные специалисты люди старше 18 лет. За работу

во вредных условиях труда отпуск составляет 45 календарных дней, начисляется определенный процент денежных средств за вредные условия труда, в конце каждой смены выдается литр молока. Работники отработавшие более 5 лет на производстве раньше уходят на пенсию [20].

Особенности работы на предприятии.

Размещение технических устройств должно обеспечить их безопасную эксплуатацию, удобства обслуживания и ремонта в соответствии с действующими общими требованиями безопасности производственных процессов, нормами технологического проектирования, строительными нормами и правилами.

Вспомогательных помещениях организации должны быть предусмотрены:

а) площадки шириной не менее 2,0 м по фронту обслуживания щитов управления (при наличии постоянных рабочих мест);

б) площадки шириной не менее 1,0 м в местах постоянного обслуживания технических устройств площадки шириной не менее 0,8 м в местах периодического обслуживания;

в) ремонтные(монтажные) площадки с размерами, достаточными для размещения монтируемого и демонтируемого оборудования, приспособлений, инструментов и вспомогательных материалов для выполнения монтажных и ремонтных работ. При этом не допускается сокращение размеров рабочих проходов и площадок, а также перекрытие основных из опасных выходов.

Безопасность рабочих мест должна отвечать требованиям соответствующих стандартов безопасности [20].

Список литературы

1. Станкус В. М. Кузьмин А. П. Писаренко М. В. Русаков С. П., Ресурс коксующих углей Кузбасса и эффективность их добычи // Горный информационно-аналитический бюллетень-2008-№ 11/.-С.19-26.
2. Химическая технология твердых горючих ископаемых/Под редакцией Макарова Г.Н. Харламповича Г.Д.– М.: Химия,1986.– 408 с.
3. Кауфман А.А., Филоненко В.Ю., Филоненко Ю.Я. Теоретические основы технологии коксования каменных углей. – Липецк.: ЛГТУ,2015.– 246 с.
4. Химическая энциклопедия коксования [Электронный ресурс] /http://dic.academic.ru/dic.nsf/enc_chemistry (Дата обращения 27. 04. 2016 г.)
5. Глущенко И.М. Теоретические основы горючих ископаемых.– М.: Металлургия, 1990. –137 с.
6. Химия твердого топлива /под редакцией И.М. Караваев – М.:ИЛ, 1950.– 294 с.
7. Бабарыкин Н.Н. Теория и технология доменного процесса.– Магнитогорск.: МГТУ, 2008. – 132 с.
8. Лейбович Р.Е. , Яковлева Е.И. , Филатов А.Б. Технология коксохимического производства.— М.,: Металлургия, 1982.–359 с.
9. Гофман М. В. Справочник коксохимика том 2 – Киев.: Наукова Думка, 1965.– 294 с.
10. Сысков К. И. Свойства каменных углей и процесс образования кокса.- М.: Химия ,1961.– 156 с.
11. Гладун Т.Г. Гагарин С.Г. Состав структура и свойства каменноугольного пека как спекающей добавки в угольной шихте//Кокс и химия . -1997-№ 9. - С. 27-34
12. Бейлина Н.Ю. Структурное преобразование пеков при взаимодействии с углеродными наполнителями. Канд. Тех наук. – Москва 2000.–186–194 с.

13. Гагарин С.Г. Коксующие свойства каменноугольного пека в составе угольной шихты. Кокс и химия–2011–№9.–24– 30с.
14. Чешко Ф.Ф., Шустиков В.И., Питюлин И.Н. Процессы формирования β и α_2 -фракций каменноугольного пека при его термической обработке //Кокс и химия.–1991–№ 7.–С. 28– 34.
15. Привалов В.Е. Степаненко М.А. Каменноугольный пек. – М., Металлургия, 1981.– 208 с.
16. Справочник по химии и технологии твёрдых горючих ископаемых / Под ред. Чистякова А.Н. – СПб.: Синтез, 1996.– 189 с.
17. Рыжакина Т.Г. Экономика и управление производством. Расчет экономической части дипломного проекта: методические указания для студентов, обучающихся по химическим специальностям Института дистанционного образования. Томский политехнический университет. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2007. – 22 с.
18. Гаврикова Н.А., Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / Гаврикова Н.А., Тухватулина Л.Р., Видяев И.Г., Серикова Г.Н., Шаповалова Н.В. Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 73 с
19. Общие правила безопасности для металлургических и коксохимических предприятий[Электронный ресурс]<http://ohranatruda.ru> (дата обращения 26.04.2016)
20. Постоянный технологический регламент коксового отделения №1 организации ОАО «Алтай – кокс» – Введ. 2000-06-01
21. ГОСТ 2669-81 Кокс каменноугольный, пековый и термоантрацит. Правила приемки;
22. ГОСТ 23083-78 Кокс каменноугольный, пековый и термоантрацит. Методы отбора проб для испытаний;
23. ГОСТ 27588-91 Кокс каменноугольный. Метод определения общей влаги;

24. ГОСТ 6382-2001 Топливо твердое минеральное. Методы определения выхода летучих веществ;
25. ГОСТ 11022-95 Топливо твердое минеральное. Методы определения зольности ;
26. ГОСТ 1932-93 Топливо твердое. Методы определения фосфора;
27. ГОСТ 2059-95 Топливо твердое минеральное. Метод определения общей серы сжиганием при высокой температуре;
28. ГОСТ 8606-93 Топливо твердое минеральное. Определение общей серы. Метод Эшка;
29. ГОСТ 5954.1-91 Кокс. Ситовый анализ класса крупности 20 мм и более;
30. ГОСТ 5953-93 Кокс с размером кусков 20 мм и более. Определение механической прочности;
31. ГОСТ 8929-75 Кокс каменноугольный. Метод определения прочности;
32. ГОСТ 5954.2-91 Кокс. Ситовый анализ класса крупности 20 мм и менее;
33. ГОСТ Р 50921-2005 Кокс каменноугольный с размером кусков 20 мм и более. Метод определения прочности после реакции с двуокисью углерода;
34. ASTM D 5341-2010e1 Стандартный метод измерения индекса реакционной способности кокса (ИРСК) и прочности кокса после реакции (ПКПР);
35. СТО 0575766-005-2014 Кокс каменноугольный металлургический. Технические условия;
36. ТУ 1104-076100-00190437-159-96 Кокс металлургический из углей восточных районов. Технические условия;
37. 17.ТУ 0762-214-00190437-2006 Орешек коксовый из углей восточных районов ОАО «Алтай-Кокс»;
38. ТУ 0761-221-00190437-2006 Кокс литейный каменноугольный класса 80 мм и более ОАО «Алтай-Кокс»;
39. ТУ 0761-185-00190437-2003 Кокс литейный из углей восточных районов ОАО «Алтай-Кокс»;
40. ТУ 0763-199-00190437-2004 Мелочь коксовая. Технические условия;

41. ПНД Ф 13.1.4-97 Методика выполнения измерений массовой концентрации окислов азота в промышленных выбросах фотометрическим методом;
42. ПНД Ф 13.1.2.22-98 Методика выполнения измерений объемных долей водорода, кислорода, азота, метана, оксида и диоксида углерода в воздухе рабочей зоны и промышленных выбросах методом газовой хроматографии;
43. ГОСТ Р 50820-95 Оборудование газоочистное и пылеулавливающее. Методы определения запыленности газопылевых потоков;
44. ГОСТ 12.1.005 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны;
45. ГОСТ 12.1.005-88 «ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны»
46. ГОСТ 12.1.016-79 Воздух рабочей зоны. Требования к методикам измерения концентраций вредных веществ
47. ГОСТ 31439-2011 Оборудование и компоненты, предназначенные для применения в потенциально взрывоопасных средах.
48. ГОСТ 12.1.003-83 Уровни шума и вибрации на рабочих местах
49. ГОСТ 12.0.004-90 «ССБТ. ... Острые кромки, заусеницы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования»
50. Федеральный закон от 21 июля 1997 г. N 116-ФЗ О промышленной безопасности опасных производственных объектов
51. ГОСТ 12.1.005 предельно допустимая концентрация (далее по тексту - ПДК) в воздухе рабочей зоны по наиболее токсичному компоненту - оксиду углерода - 20 мг/м³, 4-й класс опасности.
52. ГОСТ 12.0.002-80 Движущиеся машины и механизмы

Приложение А

(Обязательное)

Таблица 6– Средние значения фракций

Показатель Y в (5)	Фракции			Параметры описания данных		
	α	β	γ	σ	Δ , %	r
C^{daf} , %	92,79-95,09(93,66)	91,21-93,33(91,89)	92,57-90,88(92,13)	0,63	0,5	0,868
H^{daf} , %	3,66—3,52(3,6i)	4,16-3,89(3,95)	6,24-4,55(5,95)	0,18	3,2	0,873
X^{daf} , %	3,55-1,39(2,73)	4,63-2,78(4,16)	1,19-4,57(1,92)	0,62	17	0,235
H/C	0,470-0,441(0,459)	0,544-0,497(0,512)	0,808-0,59(0,769)	0,024	3,3	0,874
f_a	0,970-1(0,981)	0,960-1(0,973)	0,890-0,94(0,920)	0,010	0,6	0,867
f_c	0,426-0,444(0,433)	0,478-0,502(0,486)	0,404-0,487(0,426)	0,007	1,2	0,838
M , г/моль	430-454(439)	350-360(353)	295-327(304)	8	1,8	0,880
V^{daf} , %	46,3-17(35,2)	56,3-33,9(49,1)	91,8-15(69,3)	5	9,2	0,931
$RI_{1:5}$	70,6-84,6(75,9)	69,3-73,9(70,8)	15,5-56,7(26,2)	7	11	0,748
$RI_{2:4}$	82,3-97,2(87,9)	80,9-85,8(82,5)	19,1-79,1(34,7)	5	7	0,884
K_1	75,6-100(84,9)	78,1-92(81,2)	6,8-95,3(29,8)	8	12	0,863

Примечание. Представлены интервальные (в скобках — средние) оценки вкладов фракций в формирование показателей Y . Статистические параметры модели (5): σ — среднеквадратическая ошибка прогноза; Δ — относительное отклонение расчетных данных от опытных значений показателей %; r — коэффициент множественной линейной корреляции

Приложение Б

(обязательное)

Таблица 20–Параметры технологического регламента

Наименовани е шихты	№ печи	Количество ящиков	Оборот коксовых печей	Температура в простенке с м/с		Температура в простенке с к/с
23.01.2013 (1 этап эксперимента)						
шихта №1 шихта №2 шихта №3	107	3	17	107	1248	1280
				108	1242	1266
	109	3	17	109	1245	1270
				110	1238	1278
	111	3	17	111	1231	1265
				112	1240	1272
24.01.2013 (2 этап эксперимента)						
	123	3	17	123	1240	1254
				124	1232	1271
	125	3	17	125	1228	1255
				126	1224	1257
	127	3	17	127	1234	1268
шихта №4				128	1229	1256
шихта №5	129	3	17	129	1234	1265
шихта №6				130	1228	1273
шихта №7	109	2	17	109	1235	1261
				110	1222	1281
	111	2	17	111	1235	1270
				112	1229	1260
	113	2	17	113	1231	1264
				114	1232	1261
	всего	21				