

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)»
«Политехнический институт»
Энергетический факультет
Кафедра «Промышленная теплоэнергетика»
Направление подготовки 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

**ВЫПУСКНАЯ
КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
ПРОВЕРЕНА**

Рецензент,
Главный специалист по БХУ
ООО «Мечел–Кокс»
_____ И.В. Вороной
«__» _____ 2020 г.

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой
«Промышленная теплоэнергетика»
к.т.н., доцент
_____ К.В. Осинцев
«__» _____ 2020 г.

**Модернизация системы утилизации фенольных вод за коксовыми батареями
№5-8 ООО «Мечел-Кокс»**

**ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ БАКАЛАВРА
ЮУрГУ – 13.03.01.2020.007.04. ПЗ ВКР**

Консультант по разделу
«Безопасность жизнедеятельности»,
к.т.н., доцент
_____ И.П. Палатинская
«__» _____ 2020 г.

Руководитель работы,
преподаватель:
_____ Ю.С. Приходько
«__» _____ 2020 г.

Автор работы,
Студент группы П-479
_____ А.В. Патрушев
«__» _____ 2020 г.

Консультант по разделу
«Экономика и управление»,
Старший преподаватель
_____ Р.А. Алабугина
«__» _____ 2020 г.

Нормоконтролер,
Старший преподаватель
_____ Р.А. Алабугина
«__» _____ 2020 г.

Челябинск 2020

АННОТАЦИЯ

Патрушев А.В. Модернизация системы утилизации фенольных за коксовыми батареями №5-8 ООО «Мечел-Кокс», – Челябинск: ЮУрГУ, ПИ, Э; 2020, 97 с., библиогр. список – 46 наим., 5 листов чертежей ф.А1, 2 демонстрационный лист ф.А1

В выпускной квалификационной работе предложен вариант модернизации системы утилизации фенольных вод за коксовыми батареями №5-8 ООО «Мечел-Кокс», в связи с ухудшением экологической обстановки в городе Челябинске.

Отчет о ВКР состоит из введения, 9-ти глав, заключения и библиографического списка. Во введении обозначена проблема и предлагаются различные варианты ее решения. Первая глава раскрывает предпосылки модернизации установки, а также обоснование данного решения. Во второй главе сравниваются отечественные и иностранные аналоги утилизации сточных вод, выбирается наиболее выгодный. Третья глава посвящена обзору литературных источников. В четвертой главе рассматриваются мероприятия по энергосбережению. В пятой главе выполняется материальный баланс коксовой батареи. В шестой главе выполняется тепловой баланс коксовой батареи. В седьмой главе разбирается вопрос очистки сточных вод от азотосодержащих компонентов. В восьмой главе подбираются необходимые контрольно-измерительные приборы и автоматика. В девятой главе рассматриваются вопросы экологии, проведен расчет расхода сжатого воздуха на БХУ. В десятой главе описываются все требования по обеспечению безопасности жизнедеятельности. В одиннадцатой разобраны вопросы экономики и управления. В заключении подведены итоги расчетов и принятых решений.

Графическая часть выполнена с применением AutoCAD и Компас– системы автоматизированного проектирования на листах формата А1.

					13.03.01.2020.007.04 ПЗ			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Патрушев А.В.			Модернизация системы утилизации фенольных за коксовыми батареями №5-8 ООО «Мечел-Кокс»	Лит.	Лист	Листов
Провер.		Приходько Ю.С.					3	97
Реценз.						ЮУрГУ		
Н. Контр.		Алабугина Р.А.				Кафедра «Промышленная теплоэнергетика»		
Утверд.		Осинцев К.В.						

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1 ПРЕДПОСЫЛКИ МОДЕРНИЗАЦИИ СИСТЕМЫ УТИЛИЗАЦИИ ФЕНОЛЬНЫХ ВОД ЗА КОКСОВЫМИ БАТАРЕЯМИ №5-8 ООО «МЕЧЕЛ-КОКС».....	6
1.1 Обоснование модернизации системы утилизации.....	6
2 СРАВНЕНИЕ ЗАРУБЕЖНЫХ И ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ	7
2.1 Существующие методы очистки сточных вод в коксохимическом производстве.....	7
3 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	10
4 ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	11
5 РАСЧЕТ МАТЕРИАЛЬНОГО БАЛАНСА.....	13
5.1 Исходные данные.....	13
5.2 Расчетная часть.....	16
6 РАСЧЕТ ТЕПЛОВОГО БАЛАНСА.....	23
7 ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД ОТ АЗОТОСОДЕРЖАЩИХ КОМПОНЕНТОВ.....	71
8 АВТОМАТИЗАЦИЯ.....	77
8.1 Автоматика БХУ.....	77
9 ВОПРОСЫ ЭКОЛОГИИ.....	78
10 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ.....	81
10.1 Анализ вредных и производственных факторов.....	81
10.2 Безопасность производственных процессов и оборудования. Пожаровзрывоопасность.....	83
10.2.1 Определение категории взрыво- и пожароопасности.....	83
10.3 Электробезопасность.....	84
11 ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ.....	85
11.1 Техничко-экономический расчет.....	85
11.1.1 Смета капитальных затрат.....	85
11.1.2 Себестоимость.....	86
11.1.3 Расчет экономической эффективности.....	89
11.2 Сравнительный анализ проектных решений.....	91
11.3 Планирование целей проекта в дереве целей.....	92
11.4 График Ганта.....	93
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	94
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	95

					13.03.01.2020.04.007 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		4

ВВЕДЕНИЕ

Коксохимическая промышленность, как и черная металлургия в целом, в экологическом отношении одна из наиболее сложных отраслей промышленности. Принципиальные решения в этой отрасли были разработаны в период, когда вопросы охраны природы не принимались во внимание. В настоящее время ситуация изменилась – превращение коксохимической промышленности в малоотходное производство и резкое улучшение экологической обстановки в коксохимии является решающим условием ее существования.

Сухое тушение кокса приводит к образованию значительных объемов сточных вод. На стадии переработки химических продуктов также образуются сточные воды, содержащие различные примеси. Например, грубодисперсные примеси (угольная и коксовая пыль) и химические примеси (фенолы, роданиды, аммиак, масла и др.). Многие из этих примесей являются вредными. Среди всех примесей, можно выделить фенолы, так как они являются наиболее вредными. Поэтому сточные воды коксохимического производства получили наименование «фенольные».

Поэтому разработка применение новых технических решений, принципиально исключающих образование стоков и выбросов или позволяющих локализовать их в очень узкой области, что облегчило бы их очистку, является важной и актуальной задачей современности.

Исходя из этого целью данной выпускной квалификационной работы являлся поиск путей совершенствования систем очистки сточных вод, образуемых на промышленных коксохимических предприятиях.

					13.03.01.2020.04.007 ПЗ	Лист
						5
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

1 ПРЕДПОСЫЛКИ МОДЕРНИЗАЦИИ СИСТЕМЫ УТИЛИЗАЦИИ ФЕНОЛЬНЫХ ВОД ЗА КОКСОВЫМИ БАТАРЕЯМИ №5-8 ООО «МЕЧЕЛ-КОКС»

Сточные воды коксохимического производства - одни из наиболее опасных (как источник загрязнения водоемов) и трудных с точки зрения их очистки среди промышленных сточных вод. Поэтому проблема очистки сточных вод коксохимического производства решается комплексом физико-химических, механических и биохимических способов, которые используются для очистки локальных стоков и общего фенольного стока на биохимических установках.

1.1 Обоснование модернизации системы утилизации

Для улучшения экологической обстановки в городе Челябинске и прилегающих территориях было принято решение о строительстве биохимической установки утилизации сточных вод коксохимического производства Челябинского металлургического комбината. Сточные воды коксохимического производства содержат практически все химические продукты коксования: растворимые и нерастворимые ароматические углеводороды (производные бензола, нафталина, антрацена); одно- и многоатомные фенолы, аммиак и соли аммония; цианид-, роданид- и сульфид-ионы и др. Эти химические соединения во время нахождения в отстойниках попадают в окружающую среду, что неблагоприятно сказывается на экологической ситуации. Сточные воды перед тушением кокса должны быть очищены от летучих вредных веществ и не содержать те соединения, которые при контакте с раскаленным коксом могут разлагаться с выделением вредных летучих компонентов. Ужесточение требований по защите воздушного бассейна от загрязнений соответственно повышают и требования к качеству очистки сточных вод, так как процесс мокрого тушения кокса вносит определенный вклад в загрязнение атмосферы при использовании для тушения кокса даже технической воды. [27].

Так же предпосылками для запуска БХУ является рециркуляторная функция использования технической воды, что так же снижает потребление гидроресурсов. Использование БХУ является наиболее оптимальным способом утилизации трудно перерабатываемого растворимого фенола.

										13.03.01.2020.04.007 ПЗ	Лист
											6
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата							

2 СРАВНЕНИЕ СУЩЕСТВУЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ

2.1 Существующие методы очистки сточных вод в коксохимическом производстве

На данный момент известны следующие методы очистки сточных вод:

1. Механические методы.

Механическая очистка предназначена для выделения из сточной воды нерастворимых минеральных и органических примесей. Цель механической очистки состоит в подготовке производственных сточных вод к более глубокой очистке. Механическая очистка на современных очистных станциях состоит из процеживания через решетки, пескоулавливания, отстаивания и фильтрования. Как правило, механическая очистка обеспечивает выделение взвешенных веществ из этих вод до 90–95 % и снижение органических загрязнений до 20–25% [31].

2. Химические методы.

К основным методам химической очистки производственных сточных вод относят нейтрализацию, окисление и осаждение. Наиболее распространенным методом нейтрализации является метод известкования. Среди окислительных методов выделяют в основном хлорирование и озонирование. Химическая очистка применяется в качестве самостоятельного метода перед процессом подачи сточных вод в систему оборотного водоснабжения коксохимического производства, а также непосредственно перед процессом спуска сточных вод предприятия в водные объекты. Применение химической очистки в ряде случаев целесообразно (в качестве предварительной) перед биологической, механической или другими методами очистки [27].

Производственные сточные воды могут содержать щелочи и кислоты. В большинстве кислых сточных вод содержатся соли тяжелых металлов, которые необходимо выделять. Наиболее часто сточные воды загрязнены минеральными кислотами: серной, азотной, соляной, а так же смесями (агрессивные смеси). При химической очистке применяют следующие способы нейтрализации:

- взаимная нейтрализация кислых и щелочных сточных вод;
- нейтрализация реагентами, фильтрование через нейтрализующие материалы

Метод окисления. Окислительный метод очистки применяют для обезвреживания производственных сточных вод, содержащих токсичные примеси (простые) и комплексные цианиды, органические вещества или соединения, которые нецелесообразно извлекать из сточных вод, а также очищать другими методами (сероводород, сульфиды). В практике обезвреживания производственных сточных вод в качестве окислителей используют хлор; гипохлорит кальция и натрия, хлорную известь, диоксид хлора, озон, технический кислород и кислород воздуха. Среди, других окислителей, которые применяются при очистке производственных сточных вод, можно назвать пероксид водорода, оксиды марганца, перманганат и бихромат кальция.

3. Физико–химические методы.

					13.03.01.2020.04.007 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		7

Физико–химические методы играют значительную роль при очистке производственных сточных вод [20]. Они применяются как самостоятельно, так и в сочетании с механическими, химическими и биотехнологическими методами. К физико–химическим методам относятся коагуляция, флокуляция, флотация, сорбция, включая ионный обмен, обратный осмос, экстракция, эванорация, электрохимический методы.

4. Электрохимические методы.

Для очистки сточных вод от различных растворимых и диспергированных примесей применяют процессы электролиза анодного окисления и катодного восстановления, электрокоагуляции, электрофлокуляции и электродиализа. Все эти процессы протекают на электродах при пропускании через сточную воду постоянного электрического тока[19]. Электрохимические методы позволяют извлекать из сточных вод ценные продукты при относительно простой автоматизированной технологической схеме очистки, без использования химических реагентов. Основным недостатком этих методов является большой расход электроэнергии. Очистку сточных вод электрохимическими методами можно проводить периодически или непрерывно. Эффективность электрохимических методов оценивается рядом факторов: плотностью тока, напряжением, коэффициентом полезного использования напряжения, выходом по току, выходом по энергии.

5. Физические методы .

К ним относятся электрогидравлический, ультразвуковой, электростатический, радиационный, магнитный и термический методы.

6. Биотехнологические.

Биологические методы очистки сточных вод основаны на естественных процессах жизнедеятельности гетеротрофных микроорганизмов. Микроорганизмы, обладают рядом особых свойств, из которых основным является способность потреблять в качестве источников питания самые разнообразные органические (и некоторые неорганические) соединения для получения энергии и обеспечения своего функционирования.

Рассмотрим существующие методы очистки сточных вод на коксохимических предприятиях. Аэрация применяется в качестве предварительной обработки сточных вод для улучшения отстаивания. Предварительная аэрация фенольных вод осуществляется в отдельных емкостях – преаэраторах, располагаемых перед первичными отстойниками. Надсмольные воды отделений конденсации и сепараторные воды смолоперерабатывающих цехов перед отведением в канализацию подвергаются регенеративной очистки в аммиачных колоннах и обесфеноливающих скрубберах с целью улавливания аммиака и фенолов в виде товарных продуктов. Весьма перспективным способом очистки фенольных сточных вод на предприятиях коксохимии является способ экстракционной очистки. Флотационные методы очистки от масел сточных вод обладают существенными технологическими достоинствами (простотой аппаратного оформления, высокой производительностью, отсутствием стадии регенерации) и

					13.03.01.2020.04.007 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		8

возможностью довольно глубокой очистки сточных вод от диспергированных примесей – в пределах до полного удаления всех частиц, кроме высокодисперсных. Биохимическая очистка осуществляется микробным способом на биохимических установках в составе предприятия с помощью специальных комплексов бактерий и на городских или поселковых очистных сооружениях совместно с бытовыми и сточными водами с помощью активного ила. Адсорбция является эффективным методом обесфеноливания сточных вод[18]. Сорбентами могут служить активные угли, кокс, зола, шлаки, органические ионообменники–пермугит и вофатит и др. Перспективным методом доочистки фенольных сточных вод является озонирование (химический метод очистки). При оптимальных параметрах процесса (рН около 12, температура – 50–55 °С) концентрация фенолов в сточной воде снижается с 200–300 до 0,1–0,2 мг/дм³.

					13.03.01.2020.04.007 ПЗ	Лист
						9
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

3 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

При написании ВКР требуется всесторонний и широкий анализ литературы, документации, использование и изучение нормативных методов. Важнейшими источниками информации являются ФЗ, СНиП, СП, методики расчётов, учебные пособия.

В работе был использован учебник «Теплотехнические расчеты промышленных печей» 1972 года, 360 страниц, автора Мاستрюков Б.С.[7], данный учебник был использован при проведении расчета теплового баланса коксовой батареи. Расчет материального баланса производился при помощи учебников «Расчёты коксовых печей и процессов коксования» 1970 года авторов Вирозуб И.В., Лейбович Р.Е. и «Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов» 1987 года от Павлова К.Ф., Романкова П.Г., Носкова А.А [10].

Для написания главы Безопасность жизнедеятельности были использованы следующие документы: Р 2.2.206-05 «Руководство, по гигиенической оценке, факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда» [11]; ГОСТ 12.0.003-74 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация»[12]; Нормы Пожарной Безопасности 105-03 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности» [15]; ГН 2.2.5.3532-18 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны»[16].

Раздел экономики выполнен с помощью учебного пособия «Экономико-управленческая часть выпускных квалификационных работ для направления подготовки «Теплоэнергетика и теплотехника»», авторы А.А.Алабугин, Р.А.Алабугина, издательство ЮУрГУ, 2011[2].

Данный проект выполнен в соответствии с нормативно-правовой литературой. Это совокупность материалов и документов, обеспечивающих качество технического расчета, а также его соответствие всем утвержденным требованиям безопасности, условиям эксплуатации и с экологической точки зрения.

					13.03.01.2020.04.007 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		10

4 ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

Одной из главных проблем охраны окружающей среды и устойчивого развития стал рост населения планеты и набирающий скорость процесс урбанизации, которые влияют на возрастание потребностей в природных ресурсах.

Руководство ООО «Мечел-Кокс» приняло решение о модернизации производства и замены старых установок на современных энерго- и ресурсосберегающие, поэтому вводимые технологии отвечают всем современным нормам и правилам.

Биохимическая установка соответствует требованиям ФЗ №261 "Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации" [5]. БХУ очищает сточные воды коксохимического предприятия и делает их пригодными для повторного использования в качестве технической воды для мокрого тушения кокса, что существенно снижает потребление специально подготовленной воды для этих нужд. Так же при введении данной установки был полностью заменён трубопровод, что существенно снизило потери технической воды с утечками.

Биохимическая установка имеет ряд преимуществ в энерго- и ресурсосбережении по сравнению с другими технологиями утилизации фенольных вод. Например, электрофлотация или отстаивание. Электрофлотация – это процесс очистки сточных вод, при котором электролитически полученные газовые пузырьки, всплывая в объеме жидкости, взаимодействуют с частицами загрязнений, в результате чего происходит их взаимное слипание, обусловленное уменьшением поверхностной энергии флотируемой частицы и пузырька газа на границе раздела «жидкость-газ». Плотность образующегося в электрофлотаторе пенного продукта (флотошлама) ниже плотности воды, что обеспечивает его всплытие и накопление на поверхности очищенной воды [28]. При использовании данного метода при таких же объемах воды, данная установка потребляла бы на 40% больше электрической энергии, что не соответствует стратегии энергосбережения.

Метод отстаивания (используемый ранее на ООО «Мечел-Кокс») является наиболее распространенным методом выделения нерастворимых примесей. Фенольная вода после тушения кокса поступает в резервуары отстойников и находится в них порядка 4-6 часов. Данный метод имеет ряд существенных недостатков таких, как высокий уровень загрязнения окружающей среду вредными веществами, превышающий ПДК, требует большого времени нахождения воды в отстойниках, что приводит к увеличению требуемого количества воды для тушения кокса используемого предприятием, что так же не соответствует стратегии энерго- и ресурсосбережения, так же во время процесса отстаивания необходимо поддерживать определенную температуру воды, что сказывается на потреблении тепловой энергии. Но данный метод имеет одно преимущество перед биохимической установкой в плане потребления

									13.03.01.2020.04.007 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						11

электроэнергии, установка данного типа потребляет почти в 3 раза меньше электричества, но данный плюс несущественен по сравнению с минусами установки.

На основании сравнения данных методов можно сделать вывод, что в биохимическая установка наиболее выгодна для ООО «Мечел-Кокс» в энерго- и ресурсосбережении, соответствует ФЗ №261 "Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации" а также распоряжением правительства от 13 ноября 2009 года «Энергетическая стратегия России до 2030 года».

					13.03.01.2020.04.007 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		12

5 МАТЕРИАЛЬНЫЙ БАЛАНС

5.1 Исходные данные

Состав коксового газа на сухую массу $Q_p^H=6,5$ МДж/м³: H₂-59%, CH₄-22%, CO-9%, CO₂-5,5%, C₂H₄-1,5%, N₂-1%, H₂S-0,5%, O₂-1,5%, W_p=35 г/м³;

Коэффициенты перехода элементов из шихты в газ:

– азота $k_N=0,16$;

– серы $k_S=0,29$;

– кислорода $k_O=0,505$;

Коэффициент выхода газа: $k_r=2,65$;

Коэффициент избытка воздуха $\alpha = 1,4$;

Размеры камеры коксования:

– высота $h = 4,98$ м;

– длина $L=15,14$ м;

– средняя ширина $b_{cp}=0,41$ м;

– ширина с машинной стороны $b_{mc}=0,385$ м;

– ширина с коксовой стороны $b_{kc} = 0,435$ м;

– толщина свода камер $h_{л} = 1,032$ м;

– полная высота камеры $h_k = 6,0$ м;

– высота регенератора и зоны косых ходов $h_p = 3,2$ м;

Расстояние между осями камер $A=1,32$ м;

Число загрузочных люков $n_1=3$;

Поверхность загрузочного люка $f_{зл}=0,36$ м²;

Число смотровых лючков $n_2=28$; поверхность смотрового лючка $f_{сл}=0,04$ м².

Продолжительность оборота печи $\tau=17$ часов;

Число камер в батарее $n=65$;

Насыпная масса сухой шихты $\gamma_{сш}=780$ кг/м³;

Масса расчётной единицы шихты фактической влажности $E=1000$ кг.

Теплоёмкость горючей массы:

– шихты $C_{ш}=1,09$ кДж/(кг·К);

– теплоёмкость золы $C_з=0,71$ кДж/(кг·К);

– средняя теплоёмкость кокса $C_k=1,486$ кДж/(кг·К);

– энтальпия сероводорода $I_{H_2S} = 1230,98$ кДж/м³ при $t_{хнк}=700$ °С;

– теплоёмкость аммиака $C_{NH_3} = 2,688$ кДж/(кг·К).

Температура загружаемой шихты $t_{ш}=30$ °С;

Температура отопительного газа $t_{отоп}=50$ °С;

Температура окружающей среды $t_в=300$ °С;

Конечная температура кокса $t_k=1050$ °С;

Температура химических продуктов коксования $t_{хнк}=680$ °С.

Упругость водяных паров при $t_в P_{нас}=4242,56$ Па.

Относительная влажность воздуха $\varphi=0,7$. Барометрическое давление $B=99000$ Па.

Скорость ветра $w=2$ м/с.

										Лист
										13
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

13.03.01.2020.04.007 ПЗ

В таблице 5.1 приведены температуры поверхностей участков коксовой печи [46].

Таблица 5.1 – Температуры поверхностей участков коксовой печи

Участок поверхности коксовой печи	Температура, 0С
Загрузочные люка t1	240
Свод камеры t2	120
Смотровые лючки t3	200
Свод обогревательного простенка t4	140
Лобовая стенка к.с. t5кс	90
Лобовая стенка м.с. t5мс	80
Двери с коксовой стороны t6	120
Двери с машинной стороны t7	110
Торцевая стена обогревательного простенка с к.с. t8	140
Торцевая стена обогревательного простенка с м.с. t9	120
Стена регенератора t10	70

В таблице 5.2 приведены исходные данные для расчета коксовой печи [46].

Таблица 5.2 - Исходные данные для гидравлического расчета коксовых печей

Участок отопительной системы	Сечение F, м ²	Длина L, м	Диаметр эквивалентный D, м	Температура, °С
Восходящий поток				
Подовый канал	0,141	6,923	0,351	100
Колосниковая решетка	–	–	–	100
Минимальные	0,00096	–	0,035	–
Средние	0,00241	0,102	0,0525	–
Максимальные	0,00385	–	0,07	–
Насадка регенератора	1,13	2,145	0,03	100 – 1200
Наднадочное пространство	–	–	–	1200
Минимальные	0,248	–	–	–
Средние	1,732	0,12	0,501	–
Максимальные	2,8	–	–	–
Косой ход (короткий)	–	–	–	1230

Продолжение таблицы 5.2

Участок отопительной системы	Сечение F, м ²	Длина L, м	Диаметр эквивалентный D, м	Температура, °C
На входе	0,025	–	–	–
Среднее	0,012	1,2	0,109	–
На выходе	0,0063	–	–	–
Вертикал	0,218	3,96	0,445	1500
Перевальное окно	0,114	–	0,333	1400
Шахточка вертикала	–	1,936	–	1000
Нисходящий поток				
Вертикал	0,218	3,96	0,445	1350
Косой ход (длинный)	–	–	–	1320
На входе	0,0063	–	–	–
Среднее	0,012	1,54	0,109	–
На выходе	0,025	–	–	–
Наднадочное пространство	–	–	–	1300
Минимальные	0,248	–	–	–
Средние	1,732	0,12	0,501	–
Максимальные	2,8	–	–	–
Насадка регенератора	1,13	2,145	0,03	1300 - t _{пс}
Колосниковая решетка	–	–	–	t _{пс}

Продолжение таблицы 5.2

Участок отопительной системы	Сечение F, м ²	Длина L, м	Диаметр эквивалентный D, м	Температура, °С
Минимальные	0,00096	–	0,035	–
Средние	0,00241	0,102	0,0525	–
Максимальные	0,00385	–	0,07	–
Подовый канал	0,141	6,923	0,351	(t _{гн} – 50)

В таблице 5.3 представлен состав шихты.

Таблица 5.3 - Состав шихты

Наименование ЦОФ и ОФ	Марка угля	% уч. в шихте	Содержание угля %			
			W _p	A _c ^d	S ⁰	V _{гап} ^{daf}
ЦОФ Кузбасская	ГЖО	5	10,0	9,8	0,27	36,1
ОФ Распадская	ГЖ	25	9,2	8,5	0,8	37,3
ЦОФ Сибирь	КС,ОС	27	7,6	8,8	0,31	20,6
Р-з Эльгинский ЦОФ Сибирь	ГЖ	17	7,8	11,7	0,21	34,9
ГОФ Томусинская	ОС,КО	25	8,9	10,5	0,40	21,8
Коксовая добавка	КД	1	8,5	0,4	4,4	17,8
Угольная шихта	–	100	–	–	–	–

W_p – влага шихты

A_c^d – зольность шихты

S⁰ – содержание серы

V_{гап}^{daf} – выход летучих веществ

5.2 Расчет материального баланса

Для рекомендуемой шихты определяем толщину пластического слоя и выход летучих веществ по правилу аддитивности по следующей формуле (5.1) [8]:

$$P_{и} = \frac{P_a \cdot a + P_b \cdot b + \dots + P_k \cdot k}{100} \quad (5.1)$$

где $P_{ш}$ – расчет свойств шихты, %;
 P_a, P_b, P_k - показатели свойств угля, %;
 a, b, k - доля угля в шихте, %.

Определяем влагу шихты по формуле (5.1):

$$W_p = \frac{10 \cdot 5 + 9,2 \cdot 25 + 7,6 \cdot 27 + 7,8 \cdot 17 + 8,9 \cdot 25 + 8,5 \cdot 1}{100} = 8,48\%$$

Определяем зольность шихты по формуле (5.1):

$$A_c^d = \frac{9,8 \cdot 5 + 8,5 \cdot 25 + 8,8 \cdot 27 + 11,7 \cdot 17 + 10,5 \cdot 25 + 0,4 \cdot 1}{100} = 9,6\%$$

Определяем содержание серы по формуле (5.1):

$$S^o = \frac{0,27 \cdot 5 + 0,8 \cdot 25 + 0,31 \cdot 27 + 0,21 \cdot 17 + 0,4 \cdot 25 + 4,4 \cdot 1}{100} = 0,48\%$$

Определяем содержание выхода летучих веществ по формуле (5.1):

$$V_{ш}^{daf} = \frac{36,1 \cdot 5 + 37,7 \cdot 25 + 20,6 \cdot 27 + 34,9 \cdot 17 + 21,8 \cdot 25 + 17,8 \cdot 1}{100} = 28,35\%$$

Элементный состав шихты, % на горючую массу: $C_{зш}=88,5$ %; $H_{зш}=4,5$ %; $O_{зш}=5,0$ %; $N_{зш}=1,5$ %; $S_{зш}=0,5$ %. Выход летучих из кокса $V_{ск}=0,7$ %.

Пересчитаем элементный состав шихты и выход летучих с горючей массы на сухую. Коэффициент пересчёта (5.2):

$$X = \frac{100 - A_{су}}{100} \quad (5.2)$$

$$X = \frac{100 - 9,6}{100} = 0,904$$

Тогда элементный анализ на сухую массу, %: $C_{су}=80,004$ %; $H_{су}=4,068$ %; $O_{су}=4,52$ %; $N_{су}=1,356$ %; $S_{су}=0,452$ %; выход летучих веществ $V_{су}=25,63$ %.

Найдем содержание водорода в коксе на горючую массу по следующей формуле (5.3):

					13.03.01.2020.04.007 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		17

$$H_{ГК} = \frac{V_{ск} \cdot 100}{(100 - A_{су})} \quad (5.3)$$

$$H_{ГК} = \frac{0,7 \cdot 100}{(100 - 9,6)} = 0,77\%$$

Рассчитаем выход кокса по эмпирической формуле (5.4):

$$G_{ск} = 94,92 - 0,84 \cdot V_{су} + 7,7 \cdot H_{ск} \quad (5.4)$$

$$G_{ск} = 94,92 - 0,84 \cdot 25,63 + 7,7 \cdot 0,77 = 79,32\%$$

Припёк кокса можно рассчитать по следующей формуле (5.5) [9]:

$$a = 47,1 - \frac{0,58 \cdot (100 - V_{су}) \cdot 100}{100 - V_{ск}} \quad (5.5)$$

$$a = 47,1 - \frac{0,58 \cdot (100 - 25,63) \cdot 100}{100 - 0,7} = 3,66\%$$

Рассчитаем плотность сухого обратного газа по данным плотности его компонентов и составу (5.6):

$$\gamma = 0,01 \cdot (0,089 \cdot H_2 + 0,714 \cdot CH_4 + 1,25 \cdot CO + 1,964 \cdot CO_2 + 1,25 \cdot C_2H_4 + 1,25 \cdot N_2 + 1,518 \cdot H_2S + 1,429 \cdot O_2) \quad (5.6)$$

$$\gamma = 0,01 \cdot (0,089 \cdot 59 + 0,714 \cdot 22 + 1,25 \cdot 9 + 1,964 \cdot 5,5 + 1,25 \cdot 1,5 + 1,25 \cdot 1 + 1,518 \cdot 0,5 + 1,429 \cdot 1,5) = 0,4904 \text{ кг} / \text{м}^3$$

Рассчитаем выход смолы на сухую массу (5.7):

$$G_{см} = \frac{(-18,36 + 1,53 \cdot V_{су} - 0,026 \cdot V_{су}^2) \cdot (100 - A_{су})}{100} \cdot K \quad (5.7)$$

					13.03.01.2020.04.007 ПЗ	Лист
						18
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

где K - эмпирический коэффициент, принимаем равным 0,93.

$$G_{\text{см}} = \frac{(-18,36 + 1,53 \cdot 28,35 - 0,026 \cdot 28,35^2) \cdot (100 - 9,6)}{100} \cdot 0,93 = 3,463\%$$

Рассчитаем выход сырого бензола на сухую массу(5.8):

$$G_{\text{сб}} = (-1,61 + 0,144 \cdot V_{\text{су}} - 0,0016 \cdot V_{\text{су}}^2) \cdot \frac{100 - A_{\text{су}}}{100} \cdot K \quad (5.8)$$

Где K - эмпирический коэффициент, равный 0,95.

$$G_{\text{сб}} = (-1,61 + 0,144 \cdot 28,35 - 0,0016 \cdot 28,35^2) \cdot \frac{100 - 9,6}{100} \cdot 0,95 = 1,019\%$$

Рассчитаем выход аммиака на сухую массу (5.9):

$$G_{\text{сNH}_3} = k_N \cdot N_{\text{су}} \cdot \frac{17}{14}, \quad (5.9)$$

где 17 - молекулярная масса аммиака;

14 - атомная масса азота.

$$G_{\text{сNH}_3} = 0,16 \cdot 1,356 \cdot \frac{17}{14} = 0,263\%$$

Рассчитаем выход сероводорода на сухую массу (5.10):

$$G_{\text{сH}_2\text{S}} = k_s \cdot S_{\text{су}} \cdot \frac{34}{32} \quad (5.10)$$

где 34 - молекулярная масса сероводорода;

32 - атомная масса серы

$$G_{\text{сH}_2\text{S}} = 0,29 \cdot 0,452 \cdot \frac{34}{32} = 0,139\%$$

					13.03.01.2020.04.007 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		19

Рассчитаем выход пирогенетической влаги на сухую массу (5.11):

$$G_{\text{CH}_2\text{O}} = k_0 \cdot O_{\text{су}} \cdot \frac{18}{16} \quad (5.11)$$

где 18 - молекулярная масса воды;
16 - атомная масса кислорода

$$G_{\text{CH}_2\text{O}} = 0,505 \cdot 4,52 \cdot \frac{18}{16} = 2,568\%$$

Рассчитаем выход сухого газа (5.12):

$$G_{\text{сз}} = k_2 \cdot \sqrt{V_{\text{су}}} \quad (5.12)$$

$$G_{\text{сз}} = 2,65 \cdot \sqrt{25,63} = 13,416\%$$

Рассчитаем невязку баланса (5.13):

$$\Delta = 100 - G_{\text{ск}} - G_{\text{ссм}} - G_{\text{сб}} - G_{\text{сNH}_3} - G_{\text{сH}_2\text{S}} - G_{\text{сH}_2\text{O}} - G_{\text{сз}} \quad (5.13)$$

$$\Delta = 100 - 79,32 - 3,463 - 1,019 - 0,263 - 0,139 - 2,568 - 13,416 = -0,188\%$$

Невязка баланса менее 5 %, т.е. баланс верный.

Сведем материальный баланс в таблицу 5.5

Таблица 5.5 – Материальный баланс процесса коксования

Приходные статьи		Расходные статьи	
Статья	Процент	Статья	Процент
1. Сухой уголь	100	1. Валовый кокс	79,32
–	–	2. Коксовый газ	13,416
–	–	2. Каменноугольная смола	3,463
–	–	4. Бензолные углеводороды	1,019
–	–	5. Аммиак	0,263

Продолжение таблицы 5.5

Приходные статьи		Расходные статьи	
Статья	Процент	Статья	Процент
–	–	6.Сероводород	0,139
–	–	7.Избыточная аммиачная вода	2,568
	–	8. Невязка баланса	-0,188
Итого	100	Итого	100

Рассчитаем выход прямого коксового газа совместно из 1 тонны сухой шихты (5.14):

$$V_{\Gamma} = G_{cu} \cdot \frac{10}{\gamma} \quad (5.14)$$

$$V_{\Gamma} = 13,416 \cdot \frac{10}{0,4904} = 273,573 \text{ м}^3/\text{т}$$

Рассчитаем полезный объём камеры коксования (5.15):

$$V_{пол} = h \cdot l \cdot b_{cp} \quad (5.15)$$

$$V_{пол} = 4,98 \cdot 15,14 \cdot 0,41 = 30,9 \text{ м}^3$$

Рассчитаем разовую загрузку сухой и влажной шихты в камеру (5.16):

$$G_{cu} = V_{пол} \cdot \gamma_{cu} \quad (5.16)$$

$$G_{cu} = 30,9 \cdot \frac{780}{1000} = 24,1 \text{ т}$$

Тогда влажной шихты (5.17):

$$G_{пу} = G_{cu} \cdot \frac{100}{100 - W_p} \quad (5.17)$$

					13.03.01.2020.04.007 ПЗ	Лист
						21
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$G_{пу} = 24,11 \cdot \frac{100}{100 - 8,48} = 26,21m$$

Рассчитаем годовую производительность коксовой печи по сухой шихте (5.18):

$$B_{су1} = G_{су} \cdot \frac{24 \cdot 365}{\tau} \quad (5.18)$$

$$B_{су1} = 24,11 \cdot \frac{24 \cdot 365}{17} = 12424,78m/год$$

Рассчитаем годовую производительность коксовой батареи по сухой шихте (5.19):

$$B_{су} = B_{су1} \cdot n \quad (5.19)$$

$$B_{су} = 12424,78 \cdot 65 = 807610,987m/год$$

Рассчитаем годовую производительность коксовой батареи по сухому коксу (5.20):

$$B_{ск} = B_{су} \cdot \frac{G_{ск}}{100} \quad (5.20)$$

$$B_{ск} = 807610,987 \cdot \frac{79,32}{100} = 641565,17m/год$$

					13.03.01.2020.04.007 ПЗ	Лист
						22
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

6 РАСЧЕТ ТЕПЛОВОГО БАЛАНСА ПРОЦЕССА КОКСОВАНИЯ

При расчёте теплового баланса примем для упрощения, что в регенераторе подогревается только воздух, подаваемый на горение.

Переведём состав сухих отопительных газов на рабочий. Переводной коэффициент (6.1):

$$X_{кз} = \frac{100 - W_p \cdot 0,1242}{100} \quad (6.1)$$

$$X_{кз} = \frac{100 - 35 \cdot 0,1242}{100} = 0,957$$

Тогда состав коксового газа на рабочую массу будет: $H_2^p=56,435\%$, $CH_4^p=21,054\%$, $CO^p=8,61\%$, $CO_2^p=5,264\%$, $C_2H_4^p=1,436\%$, $N_2^p=0,957\%$, $H_2S^p=0,478\%$, $O_2^p=1,44\%$, $W_{кг}=4,347\%$.

Рассчитаем теплоту сгорания газов (6.2):

$$Q_n^p = 0,01 \cdot (H_2^p \cdot Q_{нH_2}^p + CH_4^p \cdot Q_{нCH_4}^p + CO^p \cdot Q_{нCO}^p + C_2H_4^p \cdot Q_{нC_2H_4}^p + H_2S^p \cdot Q_{нH_2S}^p) \quad (6.2)$$

где H_2^p , CH_4^p , CO^p , $C_2H_4^p$, H_2S^p - процентный состав горючих компонентов;

$Q_{нH_2}^p$, $Q_{нCH_4}^p$, $Q_{нCO}^p$, $Q_{нC_2H_4}^p$, $Q_{нH_2S}^p$ - низшие теплоты сгорания чистых компонентов смеси, ккал/м³.

$$Q_n^p = 0,01 \cdot (56,435 \cdot 2577 + 21,054 \cdot 8558 + 8,61 \cdot 3016 + 1,436 \cdot 14105 + 0,478 \cdot 5534) = 3744,83 \text{ ккал/м}^3 = 15675,05 \text{ кДж/м}^3$$

Необходимое теоретическое количество воздуха для сжигания топлива (6.3):

$$V^0 = 0,0476 \cdot (0,5 \cdot CO + 0,5 \cdot H_2 + 1,5 \cdot H_2S + \sum (m + \frac{n}{4}) \cdot C_m H_n - O_2) \quad (6.3)$$

$$V^0 = 0,0476 \cdot (0,5 \cdot 8,61 + 0,5 \cdot 56,435 + 1,5 \cdot 0,478 + 2 \cdot 21,054 + 3 \cdot 1,436 - 1,44) = 3,72 \text{ м}^3/\text{м}^3$$

					13.03.01.2020.04.007 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		23

Действительное количество воздуха (6.4):

$$V^D = V^0 \cdot \alpha \quad (6.4)$$

$$V^D = 3,72 \cdot 1,4 = 5,208 \text{ м}^3 / \text{м}^3$$

Найдем влагосодержание воздуха по формуле (6.5):

$$X_{\text{возд}} = \frac{0,622 \cdot \varphi \cdot P_{\text{нас}}}{B - \varphi \cdot P_{\text{нас}}} \quad (6.5)$$

$$X_{\text{возд}} = \frac{0,622 \cdot 0,7 \cdot 4242,56}{99000 - 0,7 \cdot 4242,56} = 0,0192 \text{ кг} / \text{кг}$$

Определим, какое количество водяного пара ($\text{м}^3/\text{м}^3$) поступает с воздухом в процесс горения (6.6):

$$V_{\text{H}_2\text{O}_{\text{возд}}} = X_{\text{возд}} \cdot V^0 \cdot \frac{22,4}{M_{\text{H}_2\text{O}}} \quad (6.6)$$

где 22,4 – мольный объём при нормальных условиях, $\text{м}^3/\text{кмоль}$;
 $M_{\text{H}_2\text{O}}$ – молекулярная масса воды, $\text{кг}/\text{кмоль}$.

$$V_{\text{H}_2\text{O}_{\text{возд}}} = 0,0192 \cdot 3,72 \cdot \frac{22,4}{18} = 0,08 \text{ м}^3 / \text{м}^3$$

Рассчитаем энтальпию влажного отопительного газа по формуле (6.7):

$$i_{\text{омон}} = 0,01 \cdot (i_{\text{H}_2} \cdot H_2^p + i_{\text{CH}_4} \cdot \text{CH}_4^p + i_{\text{co}} \cdot \text{CO}^p + i_{\text{CO}_2} \cdot \text{CO}_2^p + i_{\text{C}_2\text{H}_4} \cdot \text{C}_2\text{H}_4^p + i_{\text{N}_2} \cdot \text{N}_2^p + i_{\text{H}_2\text{S}} \cdot \text{H}_2\text{S}^p + i_{\text{O}_2} \cdot \text{O}_2^p + i_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \text{H}_2\text{O}^p) \quad (6.7)$$

$$i_{\text{омон}} = 0,01 \cdot (64,48 \cdot 56,435 + 82,695 \cdot 21,054 + 65,105 \cdot 8,61 + 86,0 \cdot 5,264 + 105,305 \cdot 1,436 + 65,065 \cdot 0,957 + 77,04 \cdot 0,478 + 65,965 \cdot 1,44 + 75,09 \cdot 4,347) = 70,6496 \text{ кДж} / \text{м}^3$$

Представим схему расчёта теплового баланса коксовых печей в таблице 6.1.

										Лист
										24
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.01.2020.04.007 ПЗ					

Таблица 6.1 – Схема теплового баланса коксовых печей

Приходная часть		Расходная часть	
Статья	Обозн.	Статья	Обозначение
Теплота сгорания отопительного газа	Q ₁	Теплота нагрева кокса	Q ₅
Теплота отопительного газа	Q ₂	Теплота нагрева коксового газа	Q ₆
Теплота воздуха	Q ₃	Теплота нагрева паров смолы	Q ₇
Теплота угольной шихты	Q ₄	Теплота нагрева паров сырого бензола	Q ₈
–	–	Теплота нагрева паров аммиака	Q ₉
–	–	Теплота нагрева сероводорода	Q ₁₀
–	–	Теплота нагрева паров воды	Q ₁₁
–	–	Потери тепла с продуктами горения	Q ₁₂
–	–	Потери тепла в окружающую среду	Q ₁₃

Рассчитаем теплоёмкость сухой шихты по формуле (6.8):

$$C_{су} = \left(1 - \frac{A_{су}}{100}\right) \cdot C_{ш} + \frac{A_{су}}{100} \cdot C_{з} \quad (6.8)$$

$$C_{су} = \left(1 - \frac{9,6}{100}\right) \cdot 1,09 + \frac{9,6}{100} \cdot 0,71 = 1,054 \text{ кДж} / \text{кг} \cdot \text{К}$$

Рассчитаем теплоту сгорания отопительного газа (6.9):

$$Q_1 = Q_p^n \cdot G \quad (6.9)$$

где G – неизвестное количество отопительного газа, м³/т шихты.

$$Q_1 = 6500 \cdot G \text{ кДж} / \text{т}$$

Теплота отопительного газа (6.10):

$$Q_2 = i_{отоп} \cdot G \quad (6.10)$$

$$Q_2 = 70,6496 \cdot G \frac{\text{кДж}}{\text{т}}$$

Теплота воздуха, поступающего на горение (6.11):

$$Q_3 = i_{\text{возд}} \cdot V^{\text{л}} \cdot G \quad (6.11)$$

$$Q_3 = 13,05 \cdot 5,208 \cdot G = 67,9644 \cdot G$$

Теплота угольной шихты (6.12):

$$Q_4 = C_{\text{ш}} \cdot E \cdot t_{\text{ш}} \quad (6.12)$$

$$Q_4 = 1,09 \cdot 1000 \cdot 30 = 32700 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} = 32,7 \frac{\text{кДж}}{\text{т}}$$

Рассчитаем тепло нагрева кокса по формуле (6.13):

$$Q_5 = C_{\text{ск}} \cdot 10 \cdot C_{\text{к}} \cdot t_{\text{к}} \cdot \frac{100 - W_{\text{пу}}}{100} \quad (6.13)$$

$$Q_5 = 79,32 \cdot 10 \cdot 1,486 \cdot 1050 \cdot \frac{100 - 8,48}{100} = 1132679 \frac{\text{кДж}}{\text{т}}$$

Рассчитаем энтальпию сухого коксового газа, выходящего из камеры коксования при температуре $t_{\text{хнк}} = 680^\circ\text{C}$ (6.14):

$$i_2 = 0,01 \cdot (i_{\text{H}_2} \cdot \text{H}_2 + i_{\text{CH}_4} \cdot \text{CH}_4 + i_{\text{CO}} \cdot \text{CO} + i_{\text{CO}_2} \cdot \text{CO}_2 + i_{\text{C}_2\text{H}_4} \cdot \text{C}_2\text{H}_4 + i_{\text{N}_2} \cdot \text{N}_2 + i_{\text{H}_2\text{S}} \cdot \text{H}_2\text{S} + i_{\text{O}_2} \cdot \text{O}_2) \quad (6.14)$$

$$i_2 = 0,01 \cdot (893,522 \cdot 59 + 1548,48 \cdot 22 + 932,356 \cdot 9 + 1427,68 \cdot 5,5 + 974,52 \cdot 1,5 + 2152,45 \cdot 1 + 1107,84 \cdot 0,5 + 1191,28 \cdot 1,5) = 1015,24 \frac{\text{кДж}}{\text{м}^3}$$

Рассчитаем тепло нагрева сухого коксового газа (6.15):

					13.03.01.2020.04.007 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		26

$$Q_6 = i_2 \cdot G_{сз} \cdot 10 \cdot \frac{100 - W_{пу}}{100} \quad (6.15)$$

$$Q_6 = 1015,24 \cdot 13,416 \cdot 10 \cdot \frac{100 - 8,48}{100} = 124654,45 \text{ кДж} / \text{т}$$

Рассчитаем среднюю теплоёмкость паров смолы по эмпирической формуле (6.16):

$$C_{см} = (0,305 + 0,392 \cdot 10 - 3 \cdot t_{хл}) \cdot 4,1868 \quad (6.16)$$

$$C_{см} = (0,305 + 0,392 \cdot 10 - 3 \cdot 680) \cdot 4,1868 = 2,393 \text{ кДж} / \text{кг} \cdot \text{К}$$

Можно рассчитать тепло нагрева смолы по следующей формуле (6.17):

$$Q_7 = (418,6 + C_{см} \cdot t_{хл}) \cdot G_{см} \cdot 10 \cdot \frac{100 - W_{пу}}{100} \quad (6.17)$$

$$Q_7 = (418,6 + 2,393 \cdot 680) \cdot 3,463 \cdot 10 \cdot \frac{100 - 8,48}{100} = 64839,58 \text{ кДж} / \text{т}$$

Рассчитаем среднюю теплоёмкость паров сырого бензола по эмпирической формуле, с учётом того, что среднестатистическая молекулярная масса сырого бензола $M_{сб} = 84,6$ кг/кмоль по следующей формуле (6.18):

$$C_{сб} = (20,7 + 0,026 \cdot t_{хл}) \cdot \frac{4,1868}{M_{сб}} \quad (6.18)$$

$$C_{сб} = (20,7 + 0,026 \cdot 680) \cdot \frac{4,1868}{84,6} = 1,899 \text{ кДж} / \text{кг} \cdot \text{К}$$

Рассчитаем тепло нагрева паров сырого бензола по формуле (6.19):

$$Q_8 = (431,2 + C_{сб} \cdot t_{хл}) \cdot G_{сб} \cdot 10 \cdot \frac{100 - W_{пу}}{100} \quad (6.19)$$

$$Q_8 = (431,2 + 1,899 \cdot 680) \cdot 1,019 \cdot 10 \cdot \frac{100 - 8,48}{100} = 16064,03 \text{ кДж} / \text{т}$$

					13.03.01.2020.04.007 ПЗ	Лист
						27
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Рассчитаем тепло нагрева аммиака (6.20):

$$Q_9 = C_{NH_3} \cdot 10 \cdot G_{cNH_3} \cdot t_{хнк} \cdot \frac{100 - W_{пу}}{100} \quad (6.20)$$

$$Q_9 = 2,688 \cdot 10 \cdot 0,263 \cdot 680 \cdot \frac{100 - 8,48}{100} = 4399,57 \text{ кДж/т}$$

Рассчитаем тепло нагрева сероводорода (6.21):

$$Q_{10} = i_{H_2S} \cdot \frac{M_{H_2S}}{22,4} \cdot G_{cH_2S} \cdot 10 \cdot \frac{100 - W_{пу}}{100} \quad (6.21)$$

$$Q_{10} = 1230,98 \cdot \frac{34}{22,4} \cdot 0,139 \cdot 10 \cdot \frac{100 - 8,48}{100} = 2376,91 \text{ кДж/т}$$

Рассчитаем количество тепла, уносимое парами воды (6.22):

$$Q_{11} = (r + i_{H_2O} \cdot \frac{M_{H_2O}}{22,4}) \cdot (G_{cH_2O} \cdot 10 \cdot \frac{100 - W_{пу}}{100} + W_{пу} \cdot 10) \quad (6.22)$$

где r – теплота парообразования воды, кДж/кг;

i_{H_2O} – энтальпия паров воды при ($t_{хнк} = 100$ °С), кДж/м³.

$$Q_{11} = (2258 + 776,964 \cdot \frac{18}{22,4}) \cdot (2,568 \cdot 10 \cdot \frac{100 - 8,48}{100} + 8,48 \cdot 10) = 312164,81 \text{ кДж/т}$$

Рассчитаем температуру продуктов сгорания после регенератора при обогреве печей коксовым или смешанным газом по эмпирической формуле (6.23):

$$t_{nc} = \frac{4420}{\tau - \frac{z}{60}} + 50 \quad (6.23)$$

где z – время обработки печи, мин. $z = (\tau - 2) \cdot \frac{60}{n} = (17 - 2) \cdot \frac{60}{65} = 13,85$ мин.

					13.03.01.2020.04.007 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		28

$$t_{nc} = \frac{4420}{17 - \frac{13,85}{60}} + 50 = 314^{\circ}C$$

Рассчитаем энтальпию продуктов сгорания при $t_{nc}=314^{\circ}C$ (6.24):

$$i_{nc} = i_{H_2O} \cdot H_2O + i_{CO_2} \cdot CO_2 + i_{N_2} \cdot N_2 + i_{O_2} \cdot O_2 \quad (6.24)$$

$$\begin{aligned} i_{nc} &= 470,086 \cdot 0,1216 + 594,08 \cdot 0,1371 + 411,237 \cdot 0,6869 + 427,69 \cdot 0,0516 = \\ &= 442,902 \text{ кДж} / \text{м}^3 \end{aligned}$$

Рассчитаем плотность продуктов сгорания (6.25):

$$\rho_{nc} = \rho_{H_2O} \cdot H_2O + \rho_{CO_2} \cdot CO_2 + \rho_{SO_2} \cdot SO_2 + \rho_{N_2} \cdot N_2 + \rho_{O_2} \cdot O_2 \quad (6.25)$$

$$\begin{aligned} \rho_{nc} &= \frac{18}{22,4} \cdot 0,1216 + \frac{44}{22,4} \cdot 0,1371 + \frac{64}{22,4} \cdot 0,0028 + \frac{28}{22,4} \cdot 0,6869 + \frac{32}{22,4} \cdot 0,0516 = \\ &= 1,306 \text{ кг} / \text{м}^3 \end{aligned}$$

Рассчитаем тепло, удаляемых продуктами сгорания (6.26):

$$Q_{12} = i_{nc} \cdot V_{np,z} \cdot G \quad (6.26)$$

Где $V_{np,z} = 2,8 \text{ м}^3 / \text{м}^3$

$$Q_{12} = 442,902 \cdot 2,8 \cdot G = 1235,696 \cdot G \text{ кДж} / \text{м}$$

Рассчитаем коэффициент теплоотдачи конвекцией при скорости ветра $w < 5 \text{ м/с}$ (6.27):

$$\alpha_k = 6,47 \cdot w \cdot 0,78 \cdot 1,163 \quad (6.27)$$

$$\alpha_k = 6,47 \cdot 2 \cdot 0,78 \cdot 1,163 = 11,74 \text{ Вт} / \text{м}^2 \cdot \text{К}$$

					13.03.01.2020.04.007 ПЗ	Лист
						29
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Определим площадь загрузочных люков (6.28):

$$F_1 = n_1 \cdot f_{зл} \quad (6.28)$$

$$F_1 = 3 \cdot 0,36 = 1,08 \text{ м}^2$$

Определим коэффициент теплоотдачи излучением от загрузочного люка (6.29):

$$\alpha_1 = \left(\left(\frac{t_1 + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{t_6 + 273}{100} \right)^4 \right) \cdot \frac{C}{t_1 - t_6} \quad (6.29)$$

где C – коэффициент излучения серого тела, Вт/(м²*К⁴)

$$\alpha_1 = \left(\left(\frac{240 + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{30 + 273}{100} \right)^4 \right) \cdot \frac{5,35}{240 - 30} = 15,496 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$$

Определим площадь свода камеры (6.30):

$$F_2 = b_{cp} \cdot L - F_1 \quad (6.30)$$

$$F_2 = 0,41 \cdot 15,14 - 1,08 = 5,13 \text{ м}^2$$

Определим коэффициент теплоотдачи излучением от свода камеры, двери с коксовой стороны (к.с.), торцевой стены обогревательного простенка с м.с. (6.31):

$$\alpha_2 = \alpha_6 = \alpha_9 = \left(\left(\frac{t_2 + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{t_6 + 273}{100} \right)^4 \right) \cdot \frac{C}{t_2 - t_6} \quad (6.31)$$

$$\alpha_2 = \alpha_6 = \alpha_9 = \left(\left(\frac{120 + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{30 + 273}{100} \right)^4 \right) \cdot \frac{5,35}{120 - 30} = 9,169 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$$

Определим площадь смотровых лючков (6.32):

$$F_3 = n_2 \cdot f_{сл} \quad (6.32)$$

$$F_3 = 28 \cdot 0,07 = 1,96 \text{ м}^2$$

					13.03.01.2020.04.007 ПЗ	Лист
						30
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Определим коэффициент теплоотдачи излучением от смотровых лючков (6.33):

$$\alpha_3 = \left(\left(\frac{t_3 + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{t_6 + 273}{100} \right)^4 \right) \cdot \frac{C}{t_3 - t_6} \quad (6.33)$$

$$\alpha_3 = \left(\left(\frac{200 + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{30 + 273}{100} \right)^4 \right) \cdot \frac{5,35}{200 - 30} = 13,09 \text{ Bm} / \text{m}^2 \text{K}$$

Определим площадь свода обогревательного простенка (6.34):

$$F_4 = (A - b_{cp}) \cdot L - F_3 \quad (6.34)$$

$$F_4 = (1,32 - 0,41) \cdot 15,14 - 1,96 = 12,657 \text{ m}^2$$

Определим коэффициент теплоотдачи излучением от свода обогревательного простенка (6.35):

$$\alpha_4 = \alpha_8 = \left(\left(\frac{t_4 + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{t_6 + 273}{100} \right)^4 \right) \cdot \frac{C}{t_4 - t_6} \quad (6.35)$$

$$\alpha_4 = \alpha_8 = \left(\left(\frac{140 + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{30 + 273}{100} \right)^4 \right) \cdot \frac{5,35}{140 - 30} = 10,05 \text{ Bm} / \text{m}^2 \text{K}$$

Определим площадь лобовой стенки с коксовой и машинной сторон (6.36):

$$F_5 = A \cdot h_l \quad (6.36)$$

$$F_5 = 1,32 \cdot 1,032 = 1,36 \text{ m}^2$$

Определим коэффициент теплоотдачи излучением от лобовой стенки с коксовой стороны (6.37):

$$\alpha_{5kc} = \left(\left(\frac{t_{5kc} + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{t_6 + 273}{100} \right)^4 \right) \cdot \frac{C}{t_{5kc} - t_6} \quad (6.37)$$

$$\alpha_{5kc} = \left(\left(\frac{90 + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{30 + 273}{100} \right)^4 \right) \cdot \frac{5,35}{90 - 30} = 7,96 \text{ Bm} / \text{m}^2 \text{K}$$

					13.03.01.2020.04.007 ПЗ	Лист
						31
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Определим коэффициент теплоотдачи излучением от лобовой стенки с машинной стороны (6.38):

$$\alpha_{5_{mc}} = \left(\left(\frac{t_{5_{mc}} + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{t_g + 273}{100} \right)^4 \right) \cdot \frac{C}{t_{5_{mc}} - t_g} \quad (6.38)$$

$$\alpha_{5_{mc}} = \left(\left(\frac{80 + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{30 + 273}{100} \right)^4 \right) \cdot \frac{5,35}{80 - 30} = 7,59 \text{ Bm} / \text{m}^2 \text{ K}$$

Определим площадь поверхности двери с коксовой стороны (6.39):

$$F_6 = h_{\kappa} \cdot b_{\kappa} \quad (6.39)$$

$$F_6 = 6 \cdot 0,435 = 2,61 \text{ m}^2$$

Определим площадь поверхности двери с машинной стороны (6.40):

$$F_7 = h_{\kappa} \cdot b_{mc} \quad (6.40)$$

$$F_7 = 6 \cdot 0,385 = 2,31 \text{ m}^2$$

Определим коэффициент теплоотдачи излучением от двери с машинной стороны (6.41):

$$\alpha_7 = \left(\left(\frac{t_7 + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{t_g + 273}{100} \right)^4 \right) \cdot \frac{C}{t_7 - t_g} \quad (6.41)$$

$$\alpha_7 = \left(\left(\frac{110 + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{30 + 273}{100} \right)^4 \right) \cdot \frac{5,35}{110 - 30} = 8,75 \text{ Bm} / \text{m}^2 \text{ K}$$

Определим площадь поверхности торцевой стена обогревательного простенка с к.с. (6.42):

$$F_8 = h_{\kappa} \cdot (A - b_{\kappa}) \quad (6.42)$$

$$F_8 = 6 \cdot (1,32 - 0,435) = 5,31 \text{ m}^2$$

Определим площадь поверхности торцевой стена обогревательного простенка с м.с. (6.43):

					13.03.01.2020.04.007 ПЗ	Лист
						32
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$F_9 = h_{\kappa} \cdot (A - b_{\text{мс}}) \quad (6.43)$$

$$F_9 = 6 \cdot (1,32 - 0,385) = 5,61 \text{ м}^2$$

Определим площадь поверхности стены регенератора (6.44):

$$F_{10} = h_p \cdot 2 \cdot A \quad (6.44)$$

$$F_{10} = 3,2 \cdot 2 \cdot 1,32 = 8,45 \text{ м}^2$$

Определим коэффициент теплоотдачи излучением от стены регенератора (6.45):

$$\alpha_{10} = \left(\left(\frac{t_{10} + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{t_6 + 273}{100} \right)^4 \right) \cdot \frac{C}{t_{10} - t_6} \quad (6.45)$$

$$\alpha_{10} = \left(\left(\frac{70 + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{30 + 273}{100} \right)^4 \right) \cdot \frac{5,35}{70 - 30} = 7,24 \text{ Вт/м}^2 \text{ К}$$

Определим тепло, теряемое конвекцией и лучеиспусканием загрузочными люками (6.46):

$$q_1 = 3,6 \cdot (\alpha_{\kappa} + \alpha_1) \cdot F_1 \cdot (t_1 - t_6) \quad (6.46)$$

$$q_1 = 3,6 \cdot (12,92 + 15,496) \cdot 1,08 \cdot (240 - 30) = 24522,5 \text{ кДж/ч}$$

Определим тепло, теряемое конвекцией и лучеиспусканием сводом камеры (6.47):

$$q_2 = 3,6 \cdot (\alpha_{\kappa} + \alpha_2) \cdot F_2 \cdot (t_2 - t_6) \quad (6.47)$$

$$q_2 = 3,6 \cdot (12,92 + 9,169) \cdot 5,13 \cdot (120 - 30) = 39384,18 \text{ кДж/ч}$$

Определим тепло, теряемое конвекцией и лучеиспусканием смотровыми лючками (6.48):

$$q_3 = 3,6 \cdot (\alpha_{\kappa} + \alpha_3) \cdot F_3 \cdot (t_3 - t_6) \quad (6.48)$$

										Лист
										33
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.01.2020.04.007 ПЗ					

$$q_3 = 3,6 \cdot (12,92 + 13,09) \cdot 1,96 \cdot (200 - 30) = 189439 \frac{\text{кДж}}{\text{ч}}$$

Определим тепло, теряемое конвекцией и лучеиспусканием сводом обогревательного простенка (6.49):

$$q_4 = 3,6 \cdot (\alpha_k + \alpha_4) \cdot F_4 \cdot (t_4 - t_e) \quad (6.49)$$

$$q_3 = 3,6 \cdot (12,92 + 10,05) \cdot 11,82 \cdot (140 - 30) = 1232439 \frac{\text{кДж}}{\text{ч}}$$

Определим тепло, теряемое конвекцией (6.50) и лучеиспусканием лобовой стенкой (6.51):

$$q_{5\text{кк}} = 3,6 \cdot (\alpha_k + \alpha_{5\text{кк}}) \cdot F_5 \cdot (t_{5\text{кк}} - t_e) \quad (6.50)$$

$$q_{5\text{кк}} = 3,6 \cdot (12,92 + 7,96) \cdot 1,36 \cdot (90 - 30) = 6621,607 \frac{\text{кДж}}{\text{ч}}$$

$$q_{5\text{мс}} = 3,6 \cdot (\alpha_k + \alpha_{5\text{мс}}) \cdot F_5 \cdot (t_{5\text{мс}} - t_e) \quad (6.51)$$

$$q_{5\text{мс}} = 3,6 \cdot (12,92 + 7,59) \cdot 1,36 \cdot (80 - 30) = 5427,059 \frac{\text{кДж}}{\text{ч}}$$

Суммарные потери (6.52):

$$q_5 = q_{5\text{кк}} + q_{5\text{мс}} \quad (6.52)$$

$$q_5 = 6621,607 + 5427,059 = 12048,67 \frac{\text{кДж}}{\text{ч}}$$

Определим тепло, теряемое конвекцией и лучеиспусканием дверью с косовой стороны (6.53):

$$q_6 = 3,6 \cdot (\alpha_k + \alpha_6) \cdot F_6 \cdot (t_6 - t_e) \quad (6.53)$$

$$q_6 = 3,6 \cdot (12,92 + 9,16) \cdot 2,61 \cdot (120 - 30) = 20047,73 \frac{\text{кДж}}{\text{ч}}$$

					13.03.01.2020.04.007 ПЗ	Лист
						34
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Определим тепло, теряемое конвекцией и лучеиспусканием дверью с машинной стороны (6.54):

$$q_7 = 3,6 \cdot (\alpha_k + \alpha_7) \cdot F_7 \cdot (t_7 - t_6) \quad (6.54)$$

$$q_7 = 3,6 \cdot (12,92 + 8,75) \cdot 2,31 \cdot (110 - 30) = 15494,78 \text{ кДж/ч}$$

Определим тепло, теряемое конвекцией и лучеиспусканием торцевой стеной обогревательного простенка с к.с. (6.55):

$$q_8 = 3,6 \cdot (\alpha_k + \alpha_8) \cdot F_8 \cdot (t_8 - t_6) \quad (6.55)$$

$$q_8 = 3,6 \cdot (12,92 + 10,05) \cdot 5,31 \cdot (140 - 30) = 51702,98 \text{ кДж/ч}$$

Определим тепло, теряемое конвекцией и лучеиспусканием торцевой стеной обогревательного простенка с м.с. (6.56):

$$q_9 = 3,6 \cdot (\alpha_k + \alpha_9) \cdot F_9 \cdot (t_9 - t_6) \quad (6.56)$$

$$q_9 = 3,6 \cdot (12,92 + 9,16) \cdot 5,61 \cdot (120 - 30) = 43091,09 \text{ кДж/ч}$$

Определим тепло, теряемое конвекцией и лучеиспусканием стеной регенератора (6.57):

$$q_{10} = 3,6 \cdot (\alpha_k + \alpha_{10}) \cdot F_{10} \cdot (t_{10} - t_6) \quad (6.57)$$

$$q_{10} = 3,6 \cdot (12,92 + 7,24) \cdot 8,45 \cdot (70 - 30) = 26491,47 \text{ кДж/ч}$$

Суммарные потери тепла конвекцией и лучеиспусканием печным массивом (6.58):

$$q_{\text{сум}} = \sum q_i \quad (6.58)$$

$$q_{\text{сум}} = 24522,5 + 39384,18 + 8943,9 + 123243,9 + 12048,67 + 20047,73 + 15494,78 + 51702,98 + 43091,09 + 26491,47 = 374971,1 \text{ кДж/ч}$$

					13.03.01.2020.04.007 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		35

Рассчитаем потери тепла конвекцией и лучеиспусканием и теплопроводностью в грунт (примем 10% от потерь наружными поверхностями) печным массивом, отнесённые к тонне шихты(6.59):

$$Q_{13} = \frac{q_{сум} \cdot 1,1 \cdot E \cdot \tau}{b_{ср} \cdot L \cdot h \cdot \gamma_{сш}} \quad (6.59)$$

$$Q_{13} = \frac{3749711 \cdot 1,1 \cdot 1000 \cdot 17}{0,41 \cdot 15,14 \cdot 4,98 \cdot 780} = 290807,6 \text{ кДж/т}$$

Приравняем приходную часть и расходную часть теплового баланса и найдём расход отопительного газа G:

$$6500 \cdot G + 68,51 \cdot G + 75,903 \cdot G + 31,7 = 1118394,81 + 126427,78 + 70911,85 + 13818,15 + 4459,64 + 2215,67 + 331551,54 + 1235,69 \cdot G + 290807,58, \text{ отсюда } G = 359,96 \text{ м}^3/\text{т}.$$

Подставим полученное значение расхода отопительного газа и сведём тепловой баланс в таблицу 6.2

Таблица 6.2 Тепловой баланс

Приходная часть		Расходная часть	
Статья	кДж/т (%)	Статья	кДж/т (%)
Теплота сгорания отопительного газа	2339790,73 96,5%	Теплота нагрева кокса	1140340,37 (47,05%)
Теплота отопительного газа	24752,0 1,02 %	Теплота нагрева коксового газа	122140,84 (5,04%)
Теплота воздуха	27322,84 (1,13%)	Теплота нагрева паров смолы	70158,19 (2,89 %)
Теплота угольной шихты	31674,0 1,31	Теплота нагрева паров сырого бензола	16841,16 (0,69 %)
—	—	Теплота нагрева паров аммиака	4459,15 (0,19 %)
—	—	Теплота нагрева сероводорода	2215,67 (0,09 %)
—	—	Теплота нагрева паров воды	3317551,54 (13,69%)
—	—	Потери тепла с продуктами горения	444824,57 (18,35%)
—	—	Потери тепла в окружающую среду	290807,58 (12,01%)
Итого	2423539,57 100%	Итого	2423539,57 100%

Рассчитаем теплотехнический к.п.д. обогрева коксовых печей (6.60):

$$\eta_{\text{тепл}} = \frac{(Q_{\text{сум}} - Q_{12} - Q_{13}) \cdot 100}{Q_{\text{сум}}} \quad (6.60)$$

$$\eta_{\text{тепл}} = \frac{(2423539,57 - 444824,6 - 290807,6) \cdot 100}{2423539,57} = 69,65\%$$

Рассчитаем термический к.п.д. обогрева коксовых печей (6.61):

$$\eta_{\text{терм}} = \frac{(Q_{\text{сум}} - Q_{12}) \cdot 100}{Q_{\text{сум}}} \quad (6.61)$$

$$\eta_{\text{терм}} = \frac{(2423539,57 - 444824,6) \cdot 100}{2423539,57} = 81,64\%$$

Рассчитаем удельный расход тепла на коксование 1 кг шихты фактической влажности (6.62):

$$q_{\text{рш}} = \frac{Q_1}{E} \quad (6.62)$$

$$q_{\text{рш}} = \frac{2339790,72}{1000} = 2339,79 \text{ кДж/кг}$$

При расчёте гидравлического режима коксовой печи для упрощения примем, что в регенераторе подогревается только воздух, поступающий на горение.

Рассчитаем количество газа, подаваемого на один простенок (6.63):

$$V_2 = \frac{b_{\text{ср}} \cdot L \cdot h \cdot \gamma_{\text{су}} \cdot q_{\text{рш}}}{\tau \cdot Q_{\text{рш}}} \quad (6.63)$$

$$V_2 = \frac{0,41 \cdot 15,14 \cdot 4,98 \cdot 780 \cdot 2339,79}{6500} = 510,56 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Рассчитаем количество газа, подаваемое на коксовую сторону по

					13.03.01.2020.04.007 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		37

эмпирической формуле (6.64):

$$V_{\text{зкс}} = \frac{V_2 \cdot (7 + 0,4) \cdot 1,123}{(7 + 0,4) \cdot 1,123 + (8 + 0,4)} \quad (6.64)$$

$$V_{\text{зкс}} = \frac{510,56 \cdot (7 + 0,4) \cdot 1,123}{(7 + 0,4) \cdot 1,123 + (8 + 0,4)} = 253,91 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Через подовый канал одного регенератора с коксовой стороны на восходящем потоке проходит воздух в количестве(6.65):

$$V_6 = \frac{V_{\text{зкс}} \cdot V^D}{3600} \quad (6.65)$$

$$V_6 = \frac{253,91 \cdot 5,208}{3600} = 0,137 \text{ м}^3/\text{с}$$

Через подовый канал одного регенератора с коксовой стороны на нисходящем потоке проходят продукты сгорания в количестве (6.66):

$$V_{\text{нг}} = \frac{V_{\text{зкс}} \cdot V_{\text{пр.г}}}{3600} \quad (6.66)$$

$$V_{\text{нг}} = \frac{253,91 \cdot 2,8}{3600} = 0,196 \text{ м}^3/\text{с}$$

Рассчитаем расход воздуха в коротком косом ходе по эмпирической формуле (6.67):

$$V_{\text{вккх}} = \frac{V_6 \cdot \left(1 - \frac{2,8}{2,8 + 12}\right)}{12} \quad (6.67)$$

$$V_{\text{вккх}} = \frac{0,137 \cdot \left(1 - \frac{2,8}{2,8 + 12}\right)}{12} = 0,0092 \text{ м}^3/\text{с}$$

Рассчитаем расход продуктов горения в вертикале по эмпирической формуле (6.68):

					13.03.01.2020.04.007 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		38

$$V'_{нзв} = \frac{V_{нз} \cdot (1 - \frac{1,4}{1,4 + 6})}{6} \quad (6.68)$$

$$V'_{нзв} = \frac{0,196 \cdot (1 - \frac{1,4}{1,4 + 6})}{6} = 0,02659 \text{ м}^3/\text{с}$$

Или с учётом рециркуляции равной 1,8: $V_{нзв} = V'_{нзв} \cdot 1,8 = 0,04786 \text{ м}^3/\text{с}$

Рассчитаем расход продуктов горения в длинном косом ходе (6.69):

$$V_{ндкх} = \frac{V'_{нзв}}{2} \quad (6.69)$$

$$V_{ндкх} = \frac{0,02659}{2} = 0,01329 \text{ м}^3/\text{с}$$

Рассчитаем вязкость воздуха при 100⁰С по формуле Сазерленда (6.70):

$$\mu_{100} = \mu_0 \cdot \frac{1 + \frac{C}{273}}{1 + \frac{C}{T}} \cdot \left(\frac{T}{273}\right)^{0,5} \quad (6.70)$$

где μ_0 – динамическая вязкость воздуха при $T_0 = 273$ К

C – постоянная Сазерленда [18]

$$\mu_{100} = 1,721 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{1 + \frac{122}{273}}{1 + \frac{122}{373}} \cdot \left(\frac{373}{273}\right)^{0,5} = 2,19 \cdot 10^{-5} \text{ Па} \cdot \text{с}$$

Рассчитаем плотность воздуха при 100⁰С (6.71):

$$\rho_{100} = \rho_a \cdot \frac{273}{t + 273} \quad (6.71)$$

$$\rho_{100} = 1,285 \cdot \frac{273}{100 + 273} = 0,94 \text{ кг}/\text{м}^3$$

					13.03.01.2020.04.007 ПЗ	Лист
						39
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Рассчитаем скорость воздуха в подовом канале (6.72):

$$W_{нк} = \frac{V_{г}}{F_{нк}} \quad (6.72)$$

$$W_{нк} = \frac{0,137}{0,141} = 0,969 \text{ м/с}$$

Рассчитаем критерий Рейнольдса в подовом канале для воздуха (6.73):

$$Re_{пк} = \frac{W_{нк} \cdot d_{нк} \cdot \rho_{100}}{\mu_{100}} \quad (6.73)$$

$$Re_{пк} = \frac{0,969 \cdot 0,351 \cdot 0,94}{2,19 \cdot 10^{-5}} = 14595,73$$

Рассчитаем коэффициент сопротивления трению в подовом канале по формуле Доброхотова (6.74):

$$\lambda_{пк} = \frac{0,175}{Re_{нк}^{0,12}} \quad (6.74)$$

$$\lambda_{пк} = \frac{0,175}{14595,73^{0,12}} = 0,0554$$

Рассчитаем потери на трение в подовом канале регенератора (6.75):

$$\Delta P_1 = \frac{k_{нк} \cdot \lambda_{нк} \cdot L_{нк} \cdot W_{нк}^2 \cdot \rho_0 \cdot T_{нк} \cdot 9,81}{d_{нк} \cdot 2 \cdot g \cdot T_0} \quad (6.75)$$

где $k_{пк}$ – коэффициент для подового канала;

$L_{пк}$ – длина канала, м;

$d_{пк}$ – эквивалентный диаметр канала, м.

$$\Delta P_1 = \frac{\frac{1}{3} \cdot 0,0554 \cdot 6,923 \cdot 0,9692 \cdot 1,285 \cdot 373 \cdot 9,81}{0,351 \cdot 2 \cdot 9,81 \cdot 273} = 0,301 \text{ Па}$$

					13.03.01.2020.04.007 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		40

Рассчитаем скорость воздуха в отверстии колосниковой решётки (6.76):

$$W_{кр} = \frac{\frac{V_в}{F_{кр}}}{n_{кр}} \quad (6.76)$$

где $F_{кр}$ – минимальная площадь сечения колосникового отверстия, м²;
 $n_{кр}$ – число колосниковых отверстий.

$$W_{кр} = \frac{0,137}{\frac{0,00096}{92}} = 1,54 \text{ м/с}$$

Рассчитаем потери на повороте 90° (6.77):

$$\Delta P_{пов90} = \frac{\xi_{пов90} \cdot W_{кр}^2 \cdot \rho_0 \cdot T_{кр} \cdot 9,81}{2 \cdot g \cdot T_0} \quad (6.77)$$

где $\xi_{пов90}$ – местное сопротивление на повороте 90° $\xi_{пов90}=1,5$ для квадратных сечений [6].

$$\Delta P_{пов90} = \frac{1,5 \cdot 1,54^2 \cdot 1,285 \cdot 373 \cdot 9,81}{2 \cdot 9,81 \cdot 273} = 3,156 \text{ Па}$$

Рассчитаем местное сопротивление при сужении потока при входе в колосниковую решетку (6.78):

$$\xi_{суж} = 0,5 \cdot \left(1 - \frac{\frac{F_{кр}}{b_{пк}}}{\frac{L_{пк}}{n_{кр}}}\right) \quad (6.78)$$

где $b_{пк}$ – ширина подового канала, м.

$$\xi_{суж} = 0,5 \cdot \left(1 - \frac{\frac{0,00096}{0,258}}{\frac{6,923}{92}}\right) = 0,4753$$

Рассчитаем потери при сужении потока при входе в колосниковую решетку

					13.03.01.2020.04.007 ПЗ	Лист
						41
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

(6.79):

$$\Delta P_{\text{суж}} = \frac{\xi_{\text{суж}} \cdot W_{\text{кр}}^2 \cdot \rho_0 \cdot T_{\text{кр}} \cdot 9,81}{2 \cdot g \cdot T_0} \quad (6.79)$$

$$\Delta P_{\text{суж}} = \frac{0,4753 \cdot 1,54^2 \cdot 1,285 \cdot 373 \cdot 9,81}{2 \cdot 9,81 \cdot 273} = 0,999 \text{ Па}$$

Рассчитаем критерий Рейнольдса в отверстии колосниковой решётки для воздуха (6.80):

$$\text{Re}_{\text{кр}} = \frac{W_{\text{кр}} \cdot d_{\text{кр}} \cdot \rho_{100}}{\mu_{100}} \quad (6.80)$$

$$\text{Re}_{\text{кр}} = \frac{1,54 \cdot 0,035 \cdot 0,94}{2,19 \cdot 10^{-5}} = 2323,52$$

Рассчитаем коэффициент сопротивления трению в отверстии колосниковой решётки по формуле Доброхотова (6.81):

$$\lambda_{\text{кр}} = \frac{0,175}{\text{Re}_{\text{кр}}^{0,12}} \quad (6.81)$$

$$\lambda_{\text{кр}} = \frac{0,175}{2323,52^{0,12}} = 0,069$$

Тогда $\xi_{\text{тр}} = 0,045$.

Рассчитаем местное сопротивление на расширение и трение в диффузоре (6.82):

$$\xi_{\text{диф}} = \xi_{\text{суж}} + \xi_{\text{тр}} \quad (6.82)$$

$$\xi_{\text{диф}} = 0,4753 + 0,045 = 0,5203$$

Рассчитаем потери в диффузоре колосниковой решётки (6.83):

$$\Delta P_{\text{диф}} = \frac{\xi_{\text{диф}} \cdot W_{\text{кр}}^2 \cdot \rho_0 \cdot T_{\text{кр}} \cdot 9,81}{2 \cdot g \cdot T_0} \quad (6.83)$$

					13.03.01.2020.04.007 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		42

$$\Delta P_{\text{диф}} = \frac{0,5203 \cdot 1,54^2 \cdot 1,285 \cdot 373 \cdot 9,81}{2 \cdot 9,81 \cdot 273} = 0,5134 \text{ Па}$$

Рассчитаем коэффициент местного сопротивления при расширении потока при выходе из колосниковой решётки в насадку регенератора (6.84):

$$\xi_{\text{расш}} = 1 - \frac{F'_{\text{кр}}}{\frac{F_{\text{нас}}}{n_{\text{кр}}}} \quad (6.84)$$

где $F'_{\text{кр}}$ – максимальная площадь сечения колосникового отверстия, м²;
 $n_{\text{кр}}$ – число колосниковых отверстий.

$$\xi_{\text{расш}} = 1 - \frac{0,00385}{\frac{1,13}{92}} = 0,6865$$

Рассчитаем скорость воздуха в отверстии колосниковой решётки (6.85):

$$W'_{\text{кр}} = \frac{\frac{V_6}{F'_{\text{кр}}}}{n_{\text{кр}}} \quad (6.85)$$

$$W'_{\text{кр}} = \frac{\frac{0,137}{0,00385}}{92} = 0,386 \text{ м/с}$$

Рассчитаем потери напора при расширении потока при выходе из колосниковой решётки в насадку регенератора (6.86):

$$\Delta P_{\text{расш}} = \frac{\xi_{\text{расш}} \cdot W_{\text{кр}}'^2 \cdot \rho_0 \cdot T_{\text{кр}} \cdot 9,81}{2 \cdot g \cdot T_0} \quad (6.86)$$

$$\Delta P_{\text{расш}} = \frac{0,6865 \cdot 0,386^2 \cdot 1,285 \cdot 373 \cdot 9,81}{2 \cdot 9,81 \cdot 273} = 0,089 \text{ Па}$$

Потери в колосниковой решётке рассчитываем по диффузорному отверстию, обладающему наибольшим сопротивлением (6.87):

									Лист
									43
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.01.2020.04.007 ПЗ				

$$\Delta P_2 = \Delta P_{\text{пов90}} + \Delta P_{\text{суж}} + \Delta P_{\text{диф}} + \Delta P_{\text{расш}} \quad (6.87)$$

$$\Delta P_2 = 3,156 + 0,999 + 0,5134 + 0,089 = 4,759 \text{ Па}$$

Рассчитаем скорость воздуха в насадке регенератора (6.88):

$$W_{\text{рег}} = \frac{V_{\text{в}}}{F_{\text{нас}}} \quad (6.88)$$

$$W_{\text{рег}} = \frac{0,137}{1,13} = 0,12 \text{ м/с}$$

Средняя температура в регенераторе $T_{\text{сррег}} = \frac{100 + 1200}{2} + 273 = 923 \text{ К}$

Рассчитаем потери на трение в насадке регенератора (6.89):

$$\Delta P_3 = \frac{k_{\text{рег}} \cdot c_{\text{рег}} \cdot L_{\text{рег}} \cdot W_{\text{рег}}^2 \cdot \rho_0 \cdot T_{\text{сррег}} \cdot 9,81}{d_{\text{рег}}^{1,25} \cdot \frac{B}{133,3}} \quad (6.89)$$

где $k_{\text{рег}}$ – коэффициент для перевода из британских мер ($k_{\text{рег}} = 0,18$);

$c_{\text{рег}}$ – коэффициент, зависящий от типа насадки (для фасонной $c_{\text{рег}} = 0,34$; для прямоугольной $c_{\text{рег}} = 0,22$);

$L_{\text{рег}}$ – длина канала, м;

$d_{\text{рег}}$ – эквивалентный диаметр канала, м.

$$\Delta P_3 = \frac{0,18 \cdot 0,34 \cdot 2,145 \cdot 0,12^2 \cdot 1,285 \cdot 923 \cdot 9,81}{0,03^{1,25} \cdot \frac{99000}{133,3}} = 2,412 \text{ Па}$$

Рассчитаем коэффициент местного сопротивления при выходе из насадки регенератора в наднасадочное пространство (6.90):

$$\xi_{\text{нас}} = 1 - \frac{F_{\text{нас}}}{F_{\text{нас}}} \quad (6.90)$$

					13.03.01.2020.04.007 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		44

$$\xi_{\text{наас}} = 1 - \frac{1,13}{2,8} = 0,596$$

Рассчитаем потери напора при выходе из насадки регенератора в наднасадочное пространство (6.91):

$$\Delta P_{4B} = \frac{\xi_{\text{наас}} \cdot W_{\text{рег}}^2 \cdot \rho_0 \cdot T_{\text{рег}} \cdot 9,81}{2 \cdot g \cdot T_0} \quad (6.91)$$

$$\Delta P_{4B} = \frac{0,596 \cdot 0,122 \cdot 1,285 \cdot 1473 \cdot 9,81}{2 \cdot 9,81 \cdot 273} = 0,0302 \text{ Па}$$

Рассчитаем вязкость воздуха при 1200⁰С по формуле Сазерленда (6.92):

$$\mu_{1200} = \mu_0 \cdot \frac{1 + \frac{C}{273}}{1 + \frac{C}{T}} \cdot \left(\frac{T}{273}\right)^{0,5} \quad (6.92)$$

$$\mu_{1200} = 1,721 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{1 + \frac{122}{273}}{1 + \frac{122}{1473}} \cdot \left(\frac{1473}{273}\right)^{0,5} = 5,34 \cdot 10^{-5} \text{ Па} \cdot \text{с}$$

Рассчитаем плотность воздуха при 1200⁰С (6.93):

$$\rho_{1200} = \frac{\rho_0 \cdot 273}{t + 273} \quad (6.93)$$

$$\rho_{1200} = \frac{1,285 \cdot 273}{1200 + 273} = 0,238 \text{ кг/м}^3$$

Рассчитаем скорость воздуха в наднасадочном пространстве (6.94):

$$W_{\text{наас}} = \frac{V_0}{F_{\text{наас}}} \quad (6.94)$$

					13.03.01.2020.04.007 ПЗ	Лист
						45
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$W_{\text{нас}} = \frac{0,137}{1,732} = 0,0789 \text{ м/с}$$

Рассчитаем критерий Рейнольдса в надсадочном пространстве для воздуха (6.95):

$$\text{Re}_{\text{нас}} = \frac{W_{\text{нас}} \cdot d_{\text{нас}} \cdot \rho_{1200}}{\mu_{1200}} \quad (6.95)$$

$$\text{Re}_{\text{нас}} = \frac{0,0789 \cdot 0,501 \cdot 0,238}{5,34 \cdot 10^{-5}} = 176,34$$

Рассчитаем коэффициент сопротивления трению в надсадочном пространстве регенератора по формуле Доброхотова(6.96):

$$\lambda_{\text{нас}} = \frac{0,175}{\text{Re}_{\text{нас}}^{0,12}} \quad (6.96)$$

$$\lambda_{\text{нас}} = \frac{0,175}{176,34^{0,12}} = 0,0941$$

Рассчитаем потери на трение в надсадочном пространстве регенератора (6.97):

$$\Delta P_{4\text{тр}} = \frac{\lambda_{\text{нас}} \cdot L_{\text{нас}} \cdot W_{\text{нас}}^2 \cdot \rho_0 \cdot T_{\text{нас}} \cdot 9,81}{d_{\text{нас}} \cdot 2 \cdot g \cdot T_0} \quad (6.97)$$

$$\Delta P_{4\text{тр}} = \frac{0,0941 \cdot 0,12 \cdot 0,0789^2 \cdot 1,285 \cdot 1473 \cdot 9,81}{0,501 \cdot 2 \cdot 9,81 \cdot 273} = 0,00048 \text{ Па}$$

$$\Delta P_4 = \Delta P_{4B} + \Delta P_{4\text{тр}} \quad (6.98)$$

$$\Delta P_4 = 0,0302 + 0,00048 = 0,0307 \text{ Па}$$

Рассчитаем скорость воздуха при входе в короткий косой ход (6.99):

					13.03.01.2020.04.007 ПЗ	Лист
						46
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$W_{\text{кххх}} = \frac{V_{\text{вкхх}}}{F_{\text{кххх}}} \quad (6.99)$$

$$W_{\text{кххх}} = \frac{0,0092}{0,025} = 0,369 \text{ м/с}$$

Рассчитаем потери напора на повороте 45^0 к косому ходу(6.100):

$$\Delta P_{\text{пов45}} = \frac{\xi_{\text{пов45}} \cdot W_{\text{кххх}}^2 \cdot \rho_0 \cdot T_{\text{кх}} \cdot 9,81}{2 \cdot g \cdot T_0} \quad (6.100)$$

где $\xi_{\text{пов45}}$ – местное сопротивление на повороте 45^0 $\xi_{\text{пов45}}=0,32$ для квадратных сечений [6]

$$\Delta P_{\text{пов45}} = \frac{0,32 \cdot 0,369^2 \cdot 1,285 \cdot 1503 \cdot 9,81}{2 \cdot 9,81 \cdot 273} = 0,154 \text{ Па}$$

Рассчитаем местное сопротивление при сужении потока при входе в короткий косой ход (6.101):

$$\xi_{\text{суж}} = 0,5 \cdot \left(1 - \frac{F_{\text{кххх}}}{F'_{\text{ннас}}}\right) \quad (6.101)$$

где $F'_{\text{ннас}}$ – площадь сечения при выходе из надсадочного пространства.

$$\xi_{\text{суж}} = 0,5 \cdot \left(1 - \frac{0,025}{0,248}\right) = 0,4496$$

Рассчитаем потери напора при сужении потока при входе в короткий косой ход (6.102):

$$\Delta P_{\text{сужкх}} = \frac{\xi_{\text{суж}} \cdot W_{\text{кххх}}^2 \cdot \rho_0 \cdot T_{\text{кх}} \cdot 9,81}{2 \cdot g \cdot T_0} \quad (6.102)$$

$$\Delta P_{\text{сужкх}} = \frac{0,4496 \cdot 0,3692 \cdot 1,285 \cdot 1503 \cdot 9,81}{2 \cdot 9,81 \cdot 273} = 0,271 \text{ Па}$$

Рассчитаем вязкость воздуха при 1230^0C по формуле Сазерленда (6.103):

					13.03.01.2020.04.007 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		47

$$\mu_{1230} = \mu_0 \cdot \frac{1 + \frac{C}{273}}{1 + \frac{C}{T}} \cdot \left(\frac{T}{273}\right)^{0,5} \quad (6.103)$$

$$\mu_{1230} = 1,721 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{1 + \frac{122}{273}}{1 + \frac{122}{1503}} \cdot \left(\frac{1503}{273}\right)^{0,5} = 5,4 \cdot 10^{-5} \text{ Па} \cdot \text{с}$$

Рассчитаем плотность воздуха при 1230⁰С (6.104):

$$\rho_{1230} = \frac{\rho_s \cdot 273}{t + 273} \quad (6.104)$$

$$\rho_{1230} = \frac{1,285 \cdot 273}{1230 + 273} = 0,233 \text{ кг/м}^3$$

Рассчитаем скорость воздуха в коротком косом ходе (6.105):

$$W_{кх} = \frac{V_{вккх}}{F_{кх}} \quad (6.105)$$

$$W_{кх} = \frac{0,0092}{0,012} = 0,769 \text{ м/с}$$

Рассчитаем критерий Рейнольдса в коротком косом ходе для воздуха(6.106):

$$\text{Re}_{кх} = \frac{W_{кх} \cdot d_{кх} \cdot \rho_{1230}}{\mu_{1230}} \quad (6.106)$$

$$\text{Re}_{кх} = \frac{0,769 \cdot 0,109 \cdot 0,233}{5,4 \cdot 10^{-5}} = 362,45$$

Рассчитаем коэффициент сопротивления трению в коротком косом ходе по формуле Доброхотова (6.107):

					13.03.01.2020.04.007 ПЗ	Лист
						48
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$\lambda_{\text{кх}} = \frac{0,175}{\text{Re}_{\text{кх}}^{0,12}} \quad (6.107)$$

$$\lambda_{\text{нас}} = \frac{0,175}{362,45^{0,12}} = 0,0862$$

Рассчитаем потери на трение в коротком косом ходе (6.108):

$$\Delta P_{\text{кстр}} = \frac{\lambda_{\text{кх}} \cdot L_{\text{кх}} \cdot W_{\text{кх}}^2 \cdot \rho_0 \cdot T_{\text{кх}} \cdot 9,81}{d_{\text{кх}} \cdot 2 \cdot g \cdot T_0} \quad (6.108)$$

$$\Delta P_{\text{кстр}} = \frac{0,0862 \cdot 1,2 \cdot 0,769^2 \cdot 1,285 \cdot 1503 \cdot 9,81}{0,109 \cdot 2 \cdot 9,81 \cdot 273} = 1,992 \text{ Па}$$

Рассчитаем потери напора на повороте 45° в коротком косом ходе (6.109):

$$\Delta P_{\text{пов}45\text{кх}} = \frac{\xi_{\text{пов}45\text{кх}} \cdot W_{\text{кх}}^2 \cdot \rho_0 \cdot T_{\text{кх}} \cdot 9,81}{2 \cdot g \cdot T_0} \quad (6.109)$$

$$\Delta P_{\text{пов}45\text{кх}} = \frac{0,32 \cdot 0,769^2 \cdot 1,285 \cdot 1503 \cdot 9,81}{2 \cdot 9,81 \cdot 273} = 0,67 \text{ Па}$$

Рассчитаем коэффициент местного сопротивления при плавном сужении струи на уровне регистра и рассекателя (6.110):

$$\xi_{\text{сужрег}} = k_{\text{рег}} \cdot \left(1 - \frac{F_{\text{кхвых}}}{F_{\text{кх}}}\right) \quad (6.110)$$

где $k_{\text{рег}}$ – коэффициент для сужения струи в регистре и рассекателе.

$$\xi_{\text{сужрег}} = 0,01081 \cdot \left(1 - \frac{0,0063}{0,012}\right) = 0,005135$$

Рассчитаем скорость воздуха на выходе из короткого косога хода (6.111):

$$W_{\text{кхвых}} = \frac{V_{\text{вккх}}}{F_{\text{кхвых}}} \quad (6.111)$$

					13.03.01.2020.04.007 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		49

$$W_{\text{кхвых}} = \frac{0,0092}{0,0063} = 1,466 \text{ м/с}$$

Рассчитаем потери напора за счёт плавного сужения струи на уровне регистра и рассекателя (6.112):

$$\Delta P_{\text{сужрег}} = \frac{\xi_{\text{сужрег}} \cdot W_{\text{кхвых}}^2 \cdot \rho_0 \cdot T_{\text{кх}} \cdot 9,81}{2 \cdot g \cdot T_0} \quad (6.112)$$

$$\Delta P_{\text{сужрег}} = \frac{0,005135 \cdot 1,466^2 \cdot 1,285 \cdot 1503 \cdot 9,81}{2 \cdot 9,81 \cdot 273} = 0,0391 \text{ Па}$$

Рассчитаем потери напора при выходе воздуха в вертикал, с учётом того, что регистр и рассекатель закрывают половину сечения вертикала (6.113):

$$\Delta P_{\text{выхверт}} = \frac{\left(1 - \frac{F_{\text{кхвых}}}{F_{\text{верт}}} \cdot 0,5\right) \cdot W_{\text{кхвых}}^2 \cdot \rho_0 \cdot T_{\text{кх}} \cdot 9,81}{2 \cdot g \cdot T_0} \quad (6.113)$$

$$\Delta P_{\text{выхверт}} = \frac{\left(1 - \frac{0,0063}{0,218} \cdot 0,5\right) \cdot 1,466^2 \cdot 1,285 \cdot 1503 \cdot 9,81}{2 \cdot 9,81 \cdot 273} = 7,497 \text{ Па}$$

Общая потеря напора в коротком косом ходе (6.114):

$$\Delta P_5 = \Delta P_{\text{пов45}} + \Delta P_{\text{сужкх}} + \Delta P_{\text{кхтр}} + \Delta P_{\text{пов45кх}} + \Delta P_{\text{сужрег}} + \Delta P_{\text{выхверт}} \quad (6.114)$$

$$\Delta P_5 = 0,154 + 0,271 + 1,992 + 0,67 + 0,0391 + 7,497 = 10,57 \text{ Па}$$

Рассчитаем вязкость продуктов сгорания при 0°C (6.115):

$$\ln \mu_{\text{нз}} = \ln \mu_{\text{H}_2\text{O}} \cdot H_2\text{O} + \ln \mu_{\text{CO}_2} \cdot \text{CO}_2 + \ln \mu_{\text{SO}_2} \cdot \text{SO}_2 + \ln \mu_{\text{N}_2} \cdot \text{N}_2 + \ln \mu_{\text{O}_2} \cdot \text{O}_2 \quad (6.115)$$

$$\ln \mu_{\text{нз}} = \ln(0,818 \cdot 10^{-5}) \cdot 0,1216 + \ln(1,384 \cdot 10^{-5}) \cdot 0,1371 + \ln(1,354 \cdot 10^{-5}) \cdot 0,0028 + \\ + \ln(1,667 \cdot 10^{-5}) \cdot 0,6869 + \ln(1,943 \cdot 10^{-5}) \cdot 0,0516 = -9,55$$

Отсюда $\mu_{\text{нз}} = 7,12 \cdot 10^{-5} \text{ Па} \cdot \text{с}$

										Лист
										50
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

13.03.01.2020.04.007 ПЗ

Постоянную Сазерленда рассчитаем по методу аддитивности (6.116):

$$C_{nz} = C_{nz\partial z} \cdot a_{\partial z} + C_{nz\kappa z} \cdot a_{\kappa z} \quad (6.116)$$

$$C_{nz} = 167 \cdot 0,777 + 237 \cdot 0,223 = 183$$

Рассчитаем вязкость продуктов сгорания при 1500⁰С по формуле Сазерленда (6.117):

$$\mu_{1500} = \mu_{nz} \cdot \frac{1 + \frac{C_{nz}}{273}}{1 + \frac{C_{nz}}{T}} \cdot \left(\frac{T}{273}\right)^{0,5} \quad (6.117)$$

$$\mu_{1500} = 7,12 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{1 + \frac{183}{273}}{1 + \frac{183}{1773}} \cdot \left(\frac{1773}{273}\right)^{0,5} = 2,73 \cdot 10^{-5} \text{ Па} \cdot \text{с}$$

Рассчитаем плотность продуктов сгорания при 1500⁰С (6.118):

$$\rho_{1500} = \frac{\rho_{nz} \cdot 273}{t + 273} \quad (6.118)$$

$$\rho_{1500} = \frac{1,352 \cdot 273}{1500 + 273} = 0,21 \text{ кг/м}^3$$

Рассчитаем скорость продуктов сгорания в вертикале (6.119):

$$W_{\text{верт}} = \frac{V_{nz\partial}}{F_{\text{верт}}} \quad (6.119)$$

$$W_{\text{верт}} = \frac{0,047}{0,218} = 0,219 \text{ м/с}$$

Рассчитаем критерий Рейнольдса в вертикале для продуктов горения (6.120):

					13.03.01.2020.04.007 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		51

$$\text{Re}_{\text{верт}} = \frac{W_{\text{верт}} \cdot d_{\text{верт}} \cdot \rho_{1500}}{\mu_{1500}} \quad (6.120)$$

$$\text{Re}_{\text{верт}} = \frac{0,219 \cdot 0,445 \cdot 0,2}{2,73 \cdot 10^{-5}} = 744,89$$

Рассчитаем коэффициент сопротивления трению в вертикале по формуле Дордохотова (6.121):

$$\lambda_{\text{верт}} = \frac{0,175}{\text{Re}_{\text{верт}}^{0,12}} \quad (6.121)$$

$$\lambda_{\text{верт}} = \frac{0,175}{744,89^{0,12}} = 0,0791$$

Рассчитаем потери на трение в вертикале (6.122):

$$\Delta P_6 = \frac{\lambda_{\text{верт}} \cdot L_{\text{верт}} \cdot W_{\text{верт}}^2 \cdot \rho_{\text{нг}} \cdot T_{\text{верт}} \cdot 9,81}{d_{\text{верт}} \cdot 2 \cdot g \cdot T_0} \quad (6.122)$$

$$\Delta P_6 = \frac{0,0791 \cdot 3,96 \cdot 0,219^2 \cdot 1,352 \cdot 1773 \cdot 9,81}{0,445 \cdot 2 \cdot 9,81 \cdot 273} = 0,149 \text{ Па}$$

Рассчитаем скорость продуктов сгорания в перевальном окне (6.123):

$$W_{\text{но}} = \frac{V_{\text{нгв}}}{F_{\text{но}}} \quad (6.123)$$

$$W_{\text{но}} = \frac{0,047}{0,114} = 0,419 \text{ м/с}$$

Рассчитаем потери напора при повороте на 90° в перевальное окно (6.124):

$$\Delta P_{\text{пов}90\text{но}} = \frac{\xi_{\text{пов}90} \cdot W_{\text{но}}^2 \cdot \rho_{\text{нг}} \cdot T_{\text{но}} \cdot 9,81}{2 \cdot g \cdot T_0} \quad (6.124)$$

					13.03.01.2020.04.007 ПЗ	Лист
						52
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$\Delta P_{\text{пов90по}} = \frac{1,5 \cdot 0,419^2 \cdot 1,352 \cdot 1673 \cdot 9,81}{2 \cdot 9,81 \cdot 273} = 1,096 \text{Па}$$

Рассчитаем потери напора при сужении в перевальном окне (6.125):

$$\Delta P_{\text{сужно}} = \frac{0,5 \cdot \left(1 - \frac{F_{\text{но}}}{F_{\text{верт}}}\right) \cdot W_{\text{но}}^2 \cdot \rho_{\text{нз}} \cdot T_{\text{но}} \cdot 9,81}{2 \cdot g \cdot T_0} \quad (6.125)$$

$$\Delta P_{\text{сужно}} = \frac{0,5 \cdot \left(1 - \frac{0,114}{0,218}\right) \cdot 0,419^2 \cdot 1,352 \cdot 1673 \cdot 9,81}{2 \cdot 9,81 \cdot 273} = 0,1743 \text{Па}$$

Потери напора при расширении при выходе из перевального окна (6.126):

$$\Delta P_{\text{расино}} = \frac{\left(1 - \frac{F_{\text{но}}}{F_{\text{верт}}}\right) \cdot W_{\text{но}}^2 \cdot \rho_{\text{нз}} \cdot T_{\text{но}} \cdot 9,81}{2 \cdot g \cdot T_0} \quad (6.126)$$

$$\Delta P_{\text{расино}} = \frac{\left(1 - \frac{0,144}{0,218}\right) \cdot 0,419^2 \cdot 1,352 \cdot 1673 \cdot 9,81}{2 \cdot 9,81 \cdot 273} = 0,348 \text{Па}$$

Потери напора при повороте на 90^0 из перевального окна в вертикал:
 $\Delta P_{\text{пов90по}} = 2,6 \text{Па}$.

Суммарные потери в перевальном окне (6.127):

$$\Delta P_7 = 2 \cdot \Delta P_{\text{пов90по}} + \Delta P_{\text{сужно}} + \Delta P_{\text{расино}} \quad (6.127)$$

$$\Delta P_7 = 2 \cdot 2,6 + 0,348 + 0,1715 = 5,723 \text{Па}$$

Рассчитаем вязкость продуктов сгорания при 1350^0C по формуле Сазерленда (6.128):

$$\mu_{1350} = \mu_{\text{нз}} \cdot \frac{1 + \frac{C_{\text{нз}}}{273}}{1 + \frac{C_{\text{нз}}}{T}} \cdot \left(\frac{T}{273}\right)^{0,5} \quad (6.128)$$

					13.03.01.2020.04.007 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		53

$$\mu_{1350} = 7,12 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{1 + \frac{183}{273}}{1 + \frac{183}{1623}} \cdot \left(\frac{1623}{273}\right)^{0,5} = 2,63 \cdot 10^{-5} \text{ Па} \cdot \text{с}$$

Рассчитаем плотность продуктов сгорания при 1350⁰С (6.129):

$$\rho_{1350} = \frac{\rho_{нз} \cdot 273}{t + 273} \quad (6.129)$$

$$\rho_{1350} = \frac{1,352 \cdot 273}{1350 + 273} = 0,227 \text{ кг/м}^3$$

Рассчитаем критерий Рейнольдса в вертикале для продуктов горения (6.130):

$$\text{Re}_{\text{верт}} = \frac{W_{\text{верт}} \cdot d_{\text{верт}} \cdot \rho_{1350}}{\mu_{1350}} \quad (6.130)$$

$$\text{Re}_{\text{верт}} = \frac{0,219 \cdot 0,445 \cdot 0,227}{2,63 \cdot 10^{-5}} = 842,32$$

Рассчитаем коэффициент сопротивления трению в вертикале по формуле Доброхотова (6.131):

$$\lambda_{\text{верт}} = \frac{0,175}{\text{Re}_{\text{верт}}^{0,12}} \quad (6.131)$$

$$\lambda_{\text{верт}} = \frac{0,175}{842,32^{0,12}} = 0,078$$

Рассчитаем потери на трение в вертикале (6.132):

$$\Delta P_8 = \frac{\lambda_{\text{верт}} \cdot L_{\text{верт}} \cdot W_{\text{верт}}^2 \cdot \rho_{нз} \cdot T_{\text{верт}} \cdot 9,81}{d_{\text{верт}} \cdot 2 \cdot g \cdot T_0} \quad (6.132)$$

$$\Delta P_6 = \frac{0,078 \cdot 3,96 \cdot 0,219^2 \cdot 1,352 \cdot 1623 \cdot 9,81}{0,445 \cdot 2 \cdot 9,81 \cdot 273} = 0,134 \text{ Па}$$

					13.03.01.2020.04.007 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		54

Рассчитаем скорость воздуха на входе в длинный косой ход (6.133):

$$W_{\text{дкхх}} = \frac{V_{\text{пгдкх}}}{F_{\text{кхвхлх}}} \quad (6.133)$$

$$W_{\text{по}} = \frac{0,0132}{0,0063} = 2,11 \text{ м/с}$$

Рассчитаем потери напора при входе продуктов горения в длинный косой ход, с учётом того, что регистр и рассекатель закрывают половину сечения (6.134):

$$\Delta P_{\text{дкхх}} = \frac{0,5 \cdot \left(1 - \frac{F_{\text{кхвхлх}}}{F_{\text{верт}} \cdot 0,5}\right) \cdot W_{\text{дкхх}}^2 \cdot \rho_{\text{пг}} \cdot T_{\text{дкх}} \cdot 9,81}{2 \cdot g \cdot T_0} \quad (6.134)$$

$$\Delta P_{\text{сужено}} = \frac{0,5 \cdot \left(1 - \frac{0,0063}{0,218}\right) \cdot 2,11^2 \cdot 1,352 \cdot 1593 \cdot 9,81}{2 \cdot 9,81 \cdot 273} = 8,661 \text{ Па}$$

Рассчитаем коэффициент местного сопротивления при плавном расширении струи на уровне регистра и рассекателя (6.135):

$$\xi_{\text{расширег}} = k_{\text{реграси}} \cdot \left(1 - \frac{F_{\text{кхвхлх}}}{F_{\text{кх}}}\right) \quad (6.135)$$

где $k_{\text{реграси}}$ – коэффициент для расширения струи на уровне регистра и рассекателя.

$$\xi_{\text{сужрег}} = 0,1747 \cdot \left(1 - \frac{0,0063}{0,012}\right) = 0,083$$

Рассчитаем потери напора за счёт плавного расширения струи на уровне регистра и рассекателя (6.136):

$$\Delta P_{\text{расширег}} = \frac{\xi_{\text{расширег}} \cdot W_{\text{дкхх}}^2 \cdot \rho_{\text{пг}} \cdot T_{\text{дкх}} \cdot 9,81}{2 \cdot g \cdot T_0} \quad (6.136)$$

						13.03.01.2020.04.007 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			55

$$\Delta P_{расшир} = \frac{0,083 \cdot 2,11^2 \cdot 1,352 \cdot 1593 \cdot 9,81}{2 \cdot 9,81 \cdot 273} = 1,458 \text{ Па}$$

Рассчитаем вязкость продуктов сгорания при 1320⁰С по формуле Сазерленда (6.137):

$$\mu_{1320} = \mu_{nz} \cdot \frac{1 + \frac{C_{nz}}{273}}{1 + \frac{C_{nz}}{T}} \cdot \left(\frac{T}{273}\right)^{0,5} \quad (6.137)$$

$$\mu_{1320} = 7,12 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{1 + \frac{183}{273}}{1 + \frac{183}{1593}} \cdot \left(\frac{1593}{273}\right)^{0,5} = 2,56 \cdot 10^{-5} \text{ Па} \cdot \text{с}$$

Рассчитаем плотность продуктов сгорания при 1320⁰С (6.138):

$$\rho_{1320} = \frac{\rho_{nz} \cdot 273}{t + 273} \quad (6.138)$$

$$\rho_{1320} = \frac{1,352 \cdot 273}{1320 + 273} = 0,231 \text{ кг/м}^3$$

Рассчитаем скорость продуктов горения в длинном косом ходе (6.139):

$$W_{окх} = \frac{V_{ндокх}}{F_{кх}} \quad (6.139)$$

$$W_{окх} = \frac{0,0132}{0,012} = 1,108 \text{ м/с}$$

Рассчитаем критерий Рейнольдса в длинном косом ходе для продуктов горения (6.140):

$$\text{Re}_{окх} = \frac{W_{окх} \cdot d_{кх} \cdot \rho_{1320}}{\mu_{1320}} \quad (6.140)$$

					13.03.01.2020.04.007 ПЗ	Лист
						56
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$Re_{\text{дкх}} = \frac{1,108 \cdot 0,109 \cdot 0,231}{2,56 \cdot 10^{-5}} = 1092,38$$

Рассчитаем коэффициент сопротивления трению в длинном косом ходе по формуле Доброхотова(6.141):

$$\lambda_{\text{дкх}} = \frac{0,175}{Re_{\text{дкх}}^{0,12}} \quad (6.141)$$

$$\lambda_{\text{верт}} = \frac{0,175}{1092,38^{0,12}} = 0,075$$

Рассчитаем потери на трение в длинном косом ходе (6.142):

$$\Delta P_{\text{дкхтр}} = \frac{\lambda_{\text{дкх}} \cdot L_{\text{дкх}} \cdot W_{\text{дкх}}^2 \cdot \rho_{\text{пг}} \cdot T_{\text{дкх}} \cdot 9,81}{d_{\text{кх}} \cdot 2 \cdot g \cdot T_0} \quad (6.142)$$

$$\Delta P_{\text{дкхтр}} = \frac{0,075 \cdot 1,54 \cdot 1,108^2 \cdot 1,352 \cdot 1593 \cdot 9,81}{0,109 \cdot 2 \cdot 9,81 \cdot 273} = 5,173 \text{ Па}$$

Рассчитаем потери напора на повороте 45^0 в длинном косом ходе(6.143):

$$\Delta P_{\text{пов } 45 \text{ дкх}} = \frac{\xi_{\text{пов } 45} \cdot W_{\text{дкх}}^2 \cdot \rho_{\text{пг}} \cdot T_{\text{дкх}} \cdot 9,81}{2 \cdot g \cdot T_0} \quad (6.143)$$

$$\Delta P_{\text{пов } 45 \text{ дкх}} = \frac{0,32 \cdot 1,108^2 \cdot 1,352 \cdot 1593 \cdot 9,81}{2 \cdot 9,81 \cdot 273} = 1,55 \text{ Па}$$

Рассчитаем скорость продуктов горения при выходе из длинного косого хода (6.144):

$$W_{\text{дкх}} = \frac{V_{\text{пгдкх}}}{F_{\text{выхдкх}}} \quad (6.144)$$

$$W_{\text{дкх}} = \frac{0,0132}{0,025} = 0,531 \text{ м/с}$$

Рассчитаем местное сопротивление при расширении потока при выходе из

						13.03.01.2020.04.007 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			57

длинного косо́го хода в наднасадочное пространство (6.145):

$$\xi_{расидкх} = 1 - \frac{F_{выхдкх}}{F'_{ннас}} \quad (6.145)$$

где $F'_{ннас}$ – площадь сечения при входе в наднасадочное пространство.

$$\xi_{расидкх} = 1 - \frac{0,025}{0,248} = 0,899$$

Рассчитаем потери напора при расширении потока при выходе в наднасадочное пространство (6.146):

$$\Delta P_{расидкх} = \frac{\xi_{расидкх} \cdot W_{дкх}^2 \cdot \rho_{пг} \cdot T_{дкх} \cdot 9,81}{2 \cdot g \cdot T_0} \quad (6.146)$$

$$\Delta P_{расидкх} = \frac{0,899 \cdot 0,531^2 \cdot 1,352 \cdot 1593 \cdot 9,81}{2 \cdot 9,81 \cdot 273} = 1,004 \text{ Па}$$

Рассчитаем потери напора на повороте 45° при выходе из длинного косо́го хода в наднасадочное пространство (6.147):

$$\Delta P_{пов45н} = \frac{\xi_{пов45} \cdot W_{дкх}^2 \cdot \rho_{пг} \cdot T_{дкх} \cdot 9,81}{2 \cdot g \cdot T_0} \quad (6.147)$$

$$\Delta P_{пов45н} = \frac{0,32 \cdot 0,531^2 \cdot 1,352 \cdot 1593 \cdot 9,81}{2 \cdot 9,81 \cdot 273} = 0,357 \text{ Па}$$

Общая потеря напора в длинном косо́м ходе (6.148):

$$\Delta P_6 = \Delta P_{дкхвх} + \Delta P_{расшрег} + \Delta P_{дкхтр} + \Delta P_{пов45дкх} + \Delta P_{расидкх} + \Delta P_{пов45н} \quad (6.148)$$

Отсюда $\Delta P_6 = 18,203 \text{ Па}$.

Рассчитаем вязкость продуктов горения при 1300°C по формуле Сазерленда (6.149):

					13.03.01.2020.04.007 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		58

$$\mu_{1300} = \mu_{n2} \cdot \frac{1 + \frac{C_{n2}}{273}}{1 + \frac{C_{n2}}{T}} \cdot \left(\frac{T}{273}\right)^{0,5} \quad (6.149)$$

$$\mu_{1320} = 7,12 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{1 + \frac{183}{273}}{1 + \frac{183}{1573}} \cdot \left(\frac{1573}{273}\right)^{0,5} = 2,54 \cdot 10^{-5} \text{ Па} \cdot \text{с}$$

Рассчитаем плотность продуктов сгорания при 1300⁰С (6.150):

$$\rho_{1300} = \frac{\rho_{n2} \cdot 273}{t + 273} \quad (6.150)$$

$$\rho_{1320} = \frac{1,352 \cdot 273}{1300 + 273} = 0,235 \text{ кг/м}^3$$

Рассчитаем скорость продуктов сгорания в надсадочном пространстве (6.151):

$$W_{ннас} = \frac{V_{n2}}{F_{ннас}} \quad (6.151)$$

$$W_{ннас} = \frac{0,0195}{1,732} = 0,113 \text{ м/с}$$

Рассчитаем критерий Рейнольдса в надсадочном пространстве для продуктов сгорания (6.152):

$$\text{Re}_{ннас} = \frac{W_{ннас} \cdot d_{ннас} \cdot \rho_{1300}}{\mu_{1300}} \quad (6.152)$$

$$\text{Re}_{окх} = \frac{0,113 \cdot 0,501 \cdot 0,235}{2,54 \cdot 10^{-5}} = 525,377$$

Рассчитаем коэффициент сопротивления трению в надсадочном пространстве регенератора по формуле Доброхотова (6.153):

					13.03.01.2020.04.007 ПЗ	Лист
						59
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$\lambda_{\text{наасх}} = \frac{0,175}{\text{Re}_{\text{наас}}^{0,12}} \quad (6.153)$$

$$\lambda_{\text{верт}} = \frac{0,175}{525,37^{0,12}} = 0,083$$

Рассчитаем потери на трение в наднасадочном пространстве регенератора при движении продуктов сгорания (6.154):

$$\Delta P_{10\text{тр}} = \frac{\lambda_{\text{наас}} \cdot L_{\text{наас}} \cdot W_{\text{наас}}^2 \cdot \rho_{\text{пг}} \cdot T_{\text{ни}} \cdot 9,81}{d_{\text{наас}} \cdot 2 \cdot g \cdot T_0} \quad (6.154)$$

$$\Delta P_{10\text{тр}} = \frac{0,083 \cdot 0,12 \cdot 0,113^2 \cdot 1,352 \cdot 1573 \cdot 9,81}{0,501 \cdot 2 \cdot 9,81 \cdot 273} = 0,00099 \text{Па}$$

Рассчитаем коэффициент местного сопротивления при выходе из наднасадочного пространства в насадку регенератора (6.155):

$$\xi_{\text{наас}} = 0,5 \cdot \left(1 - \frac{F_{\text{наас}}}{F_{\text{наас}}}\right) \quad (6.155)$$

$$\xi_{\text{наас}} = 0,5 \cdot \left(1 - \frac{1,13}{2,8}\right) = 0,298$$

Рассчитаем потери напора при выходе из из наднасадочного пространства в насадку регенератора (6.156):

$$\Delta P_{10\text{с}} = \frac{\xi_{\text{наас}} \cdot W_{\text{наас}}^2 \cdot \rho_{\text{пг}} \cdot T_{\text{ни}} \cdot 9,81}{2 \cdot g \cdot T_0} \quad (6.156)$$

$$\Delta P_{10\text{с}} = \frac{0,298 \cdot 0,113^2 \cdot 1,352 \cdot 1573 \cdot 9,81}{2 \cdot 9,81 \cdot 273} = 0,015 \text{Па}$$

Суммарные потери в наднасадочном пространстве регенератора (6.157):

					13.03.01.2020.04.007 ПЗ	Лист
						60
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$\Delta P_{10} = \Delta P_{10mp} + \Delta P_{10\epsilon} \quad (6.157)$$

$$\Delta P_{10} = 0,00098 + 0,015 = 0,01598 \text{ Па}$$

Рассчитаем скорость продуктов сгорания в насадке регенератора (6.158):

$$W_{\text{реген}} = \frac{V_{\text{нз}}}{F_{\text{нас}}} \quad (6.158)$$

$$W_{\text{реген}} = \frac{0,196}{1,13} = 0,174 \text{ м/с}$$

Средняя температура продуктов сгорания в регенераторе $T_{\text{срреген}} = (350 + 1300) / 2 + 273 = 1098 \text{ К}$.

Рассчитаем потери на трение в насадке регенератора по следующей формуле (6.159):

$$\Delta P_{11} = \frac{k_{\text{рег}} \cdot c_{\text{рег}} \cdot L_{\text{рег}} \cdot W_{\text{реген}}^2 \cdot \rho_{\text{нз}} \cdot T_{\text{срреген}} \cdot 9,81}{d_{\text{рег}}^{1,25} \cdot \frac{B}{133,3}} \quad (6.159)$$

где $k_{\text{рег}}$ – коэффициент для перевода из британских мер ($k_{\text{рег}} = 0,18$);
 $c_{\text{рег}}$ – коэффициент, зависящий от типа насадки (для фасонной $c_{\text{рег}} = 0,34$; для прямоугольной $c_{\text{рег}} = 0,22$);
 $L_{\text{рег}}$ – длина канала, м;
 $d_{\text{рег}}$ – эквивалентный диаметр канала, м.

$$\Delta P_{11} = \frac{0,18 \cdot 0,34 \cdot 2,145 \cdot 0,174^2 \cdot 1,352 \cdot 1098 \cdot 9,81}{0,03^{1,25} \cdot \frac{99000}{133,3}} = 6,254 \text{ Па}$$

Рассчитаем скорость продуктов горения в отверстии колосниковой решётки (6.160):

$$W_{\text{крпг}} = \frac{V_{\text{нз}}}{\frac{F_{\text{кр}}}{n_{\text{кр}}}} \quad (6.160)$$

					13.03.01.2020.04.007 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		61

где $F_{кр}$ – минимальная площадь сечения колосникового отверстия, m^2 ;
 $n_{кр}$ – число колосниковых отверстий.

$$W_{крпг} = \frac{0,196}{\frac{0,00096}{92}} = 2,23 \cdot m/c$$

Рассчитаем местное сопротивление при сужении потока при входе в колосниковую решётку продуктов сгорания (6.161):

$$\xi_{сужкр} = 0,5 \cdot \left(1 - \frac{F_{кр} \cdot n_{кр}}{F_{нас}}\right) \quad (6.161)$$

$$\xi_{сужкр} = 0,5 \cdot \left(1 - \frac{0,00096 \cdot 92}{1,13}\right) = 0,461$$

Рассчитаем потери при сужении потока при входе в колосниковую решётку (6.162):

$$\Delta P_{сужкр} = \frac{\xi_{сужкр} \cdot W_{крпг}^2 \cdot \rho_{пг} \cdot T_{крпг} \cdot 9,81}{2 \cdot g \cdot T_0} \quad (6.162)$$

$$\Delta P_{10г} = \frac{0,461 \cdot 2,23^2 \cdot 1,352 \cdot 623 \cdot 9,81}{2 \cdot 9,81 \cdot 273} = 3,53 \text{ Па}$$

Рассчитаем вязкость продуктов горения при $350^{\circ}C$ по формуле Сазерленда (6.163):

$$\mu_{350} = \mu_{пг} \cdot \frac{1 + \frac{C_{пг}}{273}}{1 + \frac{C_{пг}}{T}} \cdot \left(\frac{T}{273}\right)^{0,5} \quad (6.163)$$

$$\mu_{350} = 7,12 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{1 + \frac{183}{273}}{1 + \frac{183}{623}} \cdot \left(\frac{623}{273}\right)^{0,5} = 1,38 \cdot 10^{-5} \text{ Па} \cdot c$$

Рассчитаем плотность продуктов сгорания при $350^{\circ}C$ (6.164):

										Лист
										62
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

$$\rho_{350} = \frac{\rho_{нз} \cdot 273}{t + 273} \quad (6.164)$$

$$\rho_{350} = \frac{1,352 \cdot 273}{350 + 273} = 0,593 \text{ кг/м}^3$$

Рассчитаем критерий Рейнольдса в отверстии колосниковой решётки для продуктов сгорания (6.165):

$$\text{Re}_{крнг} = \frac{W_{крнг} \cdot d_{кр} \cdot \rho_{350}}{\mu_{350}} \quad (6.165)$$

$$\text{Re}_{крнг} = \frac{2,23 \cdot 0,035 \cdot 0,593}{1,38 \cdot 10^{-5}} = 3339,84$$

Рассчитаем коэффициент сопротивления трению в отверстии колосниковой решётки продуктов горения по формуле Доброхотова (6.166):

$$\lambda_{крнг} = \frac{0,175}{\text{Re}_{крнг}^{0,12}} \quad (6.166)$$

$$\lambda_{верт} = \frac{0,175}{3339,84^{0,12}} = 0,0661$$

тогда $\zeta_{тр} = 0,044$.

Рассчитаем местное сопротивление на расширение и трение в диффузоре (6.167):

$$\xi_{диф} = \xi_{расш} + \xi_{тр} \quad (6.167)$$

$$\xi_{диф} = 0,199 + 0,044 = 0,244$$

Рассчитаем потери в диффузоре колосниковой решётки (6.168):

$$\Delta P_{дифнг} = \frac{\xi_{диф} \cdot W_{крнг}^2 \cdot \rho_{нз} \cdot T_{крнг} \cdot 9,81}{2 \cdot g \cdot T_0} \quad (6.168)$$

					13.03.01.2020.04.007 ПЗ	Лист
						63
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$\Delta P_{\text{дифтг}} = \frac{0,244 \cdot 2,23^2 \cdot 1,352 \cdot 623 \cdot 9,81}{2 \cdot 9,81 \cdot 273} = 1,869 \text{ Па}$$

Рассчитаем местное сопротивление при расширении потока при выходе из колосниковой решётки в подовый канал(6.169):

$$\xi_{\text{раситк}} = 1 - \frac{F_{\text{крмакс}} \cdot n_{\text{кр}}}{\frac{b_{\text{нк}}}{L_{\text{нк}}}} \quad (6.169)$$

где $b_{\text{нк}}$ – ширина подового канала, м.

$$\xi_{\text{раситк}} = 1 - \frac{0,00385 \cdot 92}{\frac{0,258}{6,923}} = 0,8017$$

Рассчитаем скорость дымовых газов при выходе из отверстий колосниковой решётки (6.170):

$$W_{\text{крвых}} = \frac{V_{\text{нг}}}{\frac{F_{\text{крвых}}}{n_{\text{кр}}}} \quad (6.170)$$

$$W_{\text{крвых}} = \frac{0,196}{\frac{0,00385}{92}} = 0,555 \text{ м/с}$$

Рассчитаем потери при расширении потока при выходе в подовый канал (6.171):

$$\Delta P_{\text{раситк}} = \frac{\xi_{\text{раситк}} \cdot W_{\text{крвых}}^2 \cdot \rho_{\text{нг}} \cdot T_{\text{кртг}} \cdot 9,81}{2 \cdot g \cdot T_0} \quad (6.171)$$

$$\Delta P_{\text{дифтг}} = \frac{0,8017 \cdot 0,555^2 \cdot 1,352 \cdot 623 \cdot 9,81}{2 \cdot 9,81 \cdot 273} = 0,381 \text{ Па}$$

Рассчитаем потери на повороте 90^0 в подовый канал (6.172):

					13.03.01.2020.04.007 ПЗ	Лист
						64
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$\Delta P_{\text{пов90пг}} = \frac{\xi_{\text{пов90}} \cdot W_{\text{крвых}}^2 \cdot \rho_{\text{пг}} \cdot T_{\text{крпг}} \cdot 9,81}{2 \cdot g \cdot T_0} \quad (6.172)$$

$$\Delta P_{\text{дифпг}} = \frac{1,5 \cdot 0,555^2 \cdot 1,352 \cdot 623 \cdot 9,81}{2 \cdot 9,81 \cdot 273} = 0,714 \text{ Па}$$

Суммарные потери напора в колосниковом отверстии(6.173):

$$\Delta P_{12} = \Delta P_{\text{сукр}} + \Delta P_{\text{дифпг}} + \Delta P_{\text{распнк}} + \Delta P_{\text{пов90пг}} \quad (6.173)$$

Отсюда $\Delta P_{12} = 6,496$ Па.

Рассчитаем вязкость продуктов горения при 300⁰С по формуле Сазерленда (6.174):

$$\mu_{300} = \mu_{\text{пг}} \cdot \frac{1 + \frac{C_{\text{пг}}}{273}}{1 + \frac{C_{\text{пг}}}{T}} \cdot \left(\frac{T}{273}\right)^{0,5} \quad (6.174)$$

$$\mu_{300} = 7,12 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{1 + \frac{183}{273}}{1 + \frac{183}{573}} \cdot \left(\frac{573}{273}\right)^{0,5} = 1,3 \cdot 10^{-5} \text{ Па} \cdot \text{с}$$

Рассчитаем плотность продуктов сгорания при 300⁰С (6.175):

$$\rho_{300} = \frac{\rho_{\text{пг}} \cdot 273}{t + 273} \quad (6.175)$$

$$\rho_{300} = \frac{1,352 \cdot 273}{300 + 273} = 0,644 \text{ кг/м}^3$$

Рассчитаем скорость продуктов сгорания в подовом канале (6.176):

$$W_{\text{пкпг}} = \frac{V_{\text{пг}}}{F_{\text{пк}}} \quad (6.176)$$

					13.03.01.2020.04.007 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		65

$$W_{нкпг} = \frac{0,196}{0,141} = 1,396 \text{ м/с}$$

Рассчитаем критерий Рейнольдса в подовом канале для продуктов сгорания (6.177):

$$Re_{нкпг} = \frac{W_{нкпг} \cdot d_{нк} \cdot \rho_{300}}{\mu_{300}} \quad (6.177)$$

$$Re_{нкпг} = \frac{1,396 \cdot 0,351 \cdot 0,644}{1,3 \cdot 10^{-5}} = 24259,34$$

Рассчитаем коэффициент сопротивления трению в подовом канале для продуктов горения по формуле Доброхотова (6.178):

$$\lambda_{нкпг} = \frac{0,175}{Re_{нкпг}^{0,12}} \quad (6.178)$$

$$\lambda_{нкпг} = \frac{0,175}{24259^{0,12}} = 0,0521$$

Рассчитаем потери напора в подовом канале при движении продуктов сгорания (6.179):

$$\Delta P_{13} = \frac{k_{нк} \cdot \lambda_{нкпг} \cdot L_{нк} \cdot W_{нкпг}^2 \cdot \rho_{пг} \cdot T_{нкпг} \cdot 9,81}{d_{нк} \cdot 2 \cdot g \cdot T_0} \quad (6.179)$$

$$\Delta P_{13} = \frac{\frac{1}{3} \cdot 0,0521 \cdot 6,923 \cdot 1,395^2 \cdot 1,352 \cdot 573 \cdot 9,81}{0,351 \cdot 2 \cdot 9,81 \cdot 273} = 0,947 \text{ Па}$$

Рассчитаем подпор в подовом канале (от оси до верха) (6.180):

$$\Delta P_{01} = 0,5 \cdot H_{нк} \cdot \left(\frac{\rho_g \cdot T_0}{t_g + 273} - \frac{\rho_g \cdot T_0}{T_{нк}} \right) \cdot 9,81 \quad (6.180)$$

					13.03.01.2020.04.007 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		66

$$\Delta P_{01} = 0,5 \cdot 0,546 \cdot \left(\frac{1,285 \cdot 273}{30 + 273} - \frac{1,285 \cdot 273}{373} \right) \cdot 9,81 = 0,581 \text{Па}$$

Рассчитаем подпор в колосниковой решетке (6.181):

$$\Delta P_{02} = (L_{кр} + 0,04) \cdot \left(\frac{\rho_g \cdot T_0}{t_g + 273} - \frac{\rho_g \cdot T_0}{T_{нк}} \right) \cdot 9,81 \quad (6.181)$$

$$\Delta P_{02} = (0,102 + 0,04) \cdot \left(\frac{1,285 \cdot 273}{30 + 273} - \frac{1,285 \cdot 273}{373} \right) \cdot 9,81 = 0,303 \text{Па}$$

Рассчитаем подпор в насадке регенератора (6.182):

$$\Delta P_{03} = L_{нр} \cdot \left(\frac{\rho_g \cdot T_0}{t_g + 273} - \frac{\rho_g \cdot T_0}{T_{срегз}} \right) \cdot 9,81 \quad (6.182)$$

$$\Delta P_{03} = 2,145 \cdot \left(\frac{1,285 \cdot 273}{30 + 273} - \frac{1,285 \cdot 273}{923} \right) \cdot 9,81 = 16,36 \text{Па}$$

Рассчитаем подпор в наднасадочном пространстве регенератора (до «глазка») (6.183):

$$\Delta P_{04} = (L_{ннас} + 0,037) \cdot \left(\frac{\rho_g \cdot T_0}{t_g + 273} - \frac{\rho_g \cdot T_0}{T_{ннас}} \right) \cdot 9,81 \quad (6.183)$$

$$\Delta P_{04} = (0,12 + 0,037) \cdot \left(\frac{1,285 \cdot 273}{30 + 273} - \frac{1,285 \cdot 273}{1473} \right) \cdot 9,81 = 1,416 \text{Па}$$

Рассчитаем подпор в коротком косом ходе (6.184):

$$\Delta P_{05} = L_{кх} \cdot \left(\frac{\rho_g \cdot T_0}{t_g + 273} - \frac{\rho_g \cdot T_0}{T_{кх}} \right) \cdot 9,81 \quad (6.184)$$

$$\Delta P_{05} = 1,2 \cdot \left(\frac{1,285 \cdot 273}{30 + 273} - \frac{1,285 \cdot 273}{1503} \right) \cdot 9,81 = 10,882 \text{Па}$$

Рассчитаем подпор в вертикале (6.185):

						13.03.01.2020.04.007 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			67

$$\Delta P_{06} = L_{\text{верт}} \cdot \left(\frac{\rho_{\text{в}} \cdot T_0}{t_{\text{в}} + 273} - \frac{\rho_{\text{нз}} \cdot T_0}{T_{\text{верт}}} \right) \cdot 9,81 \quad (6.185)$$

$$\Delta P_{06} = 3,96 \cdot \left(\frac{1,285 \cdot 273}{30 + 273} - \frac{1,352 \cdot 273}{1773} \right) \cdot 9,81 = 36,88 \text{ Па}$$

Рассчитаем подпор в шахточке вертикала (6.186):

$$\Delta P_{07} = (L_{\text{шах}} + 0,142) \cdot \left(\frac{\rho_{\text{в}} \cdot T_0}{t_{\text{в}} + 273} - \frac{\rho_{\text{нз}} \cdot T_0}{T_{\text{шах}}} \right) \cdot 9,81 \quad (6.186)$$

$$\Delta P_{07} = (1,936 + 0,142) \cdot \left(\frac{1,285 \cdot 273}{30 + 273} - \frac{1,352 \cdot 273}{1273} \right) \cdot 9,81 = 17,689 \text{ Па}$$

Рассчитаем подпор в вертикале (6.187):

$$\Delta P_{08} = L_{\text{верт}} \cdot \left(\frac{\rho_{\text{в}} \cdot T_0}{t_{\text{в}} + 273} - \frac{\rho_{\text{нз}} \cdot T_0}{T_{\text{верт}}} \right) \cdot 9,81 \quad (6.187)$$

$$\Delta P_{08} = 3,96 \cdot \left(\frac{1,285 \cdot 273}{30 + 273} - \frac{1,352 \cdot 273}{1623} \right) \cdot 9,81 = 36,14 \text{ Па}$$

Рассчитаем подпор в длинном косом ходе (6.188):

$$\Delta P_{09} = L_{\text{окх}} \cdot \left(\frac{\rho_{\text{в}} \cdot T_0}{t_{\text{в}} + 273} - \frac{\rho_{\text{нз}} \cdot T_0}{T_{\text{окх}}} \right) \cdot 9,81 \quad (6.188)$$

$$\Delta P_{09} = 1,54 \cdot \left(\frac{1,285 \cdot 273}{30 + 273} - \frac{1,352 \cdot 273}{1593} \right) \cdot 9,81 = 13,989 \text{ Па}$$

Рассчитаем подпор в наднасадочном пространстве регенератора (6.189):

$$\Delta P_{10} = (L_{\text{наас}} + 0,037) \cdot \left(\frac{\rho_{\text{в}} \cdot T_0}{t_{\text{в}} + 273} - \frac{\rho_{\text{нз}} \cdot T_0}{T_{\text{нн}}} \right) \cdot 9,81 \quad (6.189)$$

					13.03.01.2020.04.007 ПЗ	Лист
						68
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$\Delta P_{10} = (0,12 + 0,037) \cdot \left(\frac{1,285 \cdot 273}{30 + 273} - \frac{1,352 \cdot 273}{1573} \right) \cdot 9,81 = 1,422 \text{ Па}$$

Рассчитаем подпор в насадке регенератора (6.190):

$$\Delta P_{11} = L_{np} \cdot \left(\frac{\rho_g \cdot T_0}{t_g + 273} - \frac{\rho_{ng} \cdot T_0}{T_{сррегнз}} \right) \cdot 9,81 \quad (6.190)$$

$$\Delta P_{11} = 2,145 \cdot \left(\frac{1,285 \cdot 273}{30 + 273} - \frac{1,352 \cdot 273}{1098} \right) \cdot 9,81 = 17,286 \text{ Па}$$

Рассчитаем подпор в колосниковой решётке (6.191):

$$\Delta P_{12} = (L_{кр} + 0,04) \cdot \left(\frac{\rho_g \cdot T_0}{t_g + 273} - \frac{\rho_{ng} \cdot T_0}{T_{крнз}} \right) \cdot 9,81 \quad (6.191)$$

$$\Delta P_{12} = (0,102 + 0,04) \cdot \left(\frac{1,285 \cdot 273}{30 + 273} - \frac{1,352 \cdot 273}{623} \right) \cdot 9,81 = 0,787 \text{ Па}$$

Рассчитаем подпор в подовом канале (до оси) (6.192):

$$\Delta P_{13} = 0,5 \cdot H_{нк} \cdot \left(\frac{\rho_g \cdot T_0}{t_g + 273} - \frac{\rho_{ng} \cdot T_0}{T_{нкнз}} \right) \cdot 9,81 \quad (6.192)$$

$$\Delta P_{13} = 0,5 \cdot 0,546 \cdot \left(\frac{1,285 \cdot 273}{30 + 273} - \frac{1,352 \cdot 273}{573} \right) \cdot 9,81 = 1,375 \text{ Па}$$

										Лист
										69
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.01.2020.04.007 ПЗ					

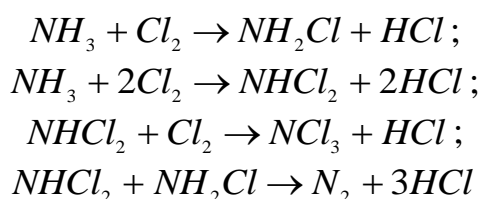
7 ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД ОТ АЗОТОСОДЕРЖАЩИХ КОМПОНЕНТОВ

В настоящее время на коксохимических производствах для очистки фенольных сточных вод применяют двухступенчатый метод биохимической очистки активным илом. На первой стадии происходит преимущественно окисление фенолов и цианидов, а на второй – роданидов. Эффективность очистки по фенолам, цианидам и роданидам на данный момент составляет 90%. Длительный опыт эксплуатации БХУ выявил недостаток в виде отсутствия очистки от азотосодержащих соединений.

Очистка от азотосодержащих компонентов представляется актуальной задачей, так как при тушении кокса соли разлагаются и выделяется аммиак, загрязняющий атмосферу, что негативно сказывается на состоянии окружающей среды. Азот присутствует в виде аммиака. Аммиак можно извлечь из воды отдувкой воздухом при pH=10-11,5.

Эффективность удаления аммиака зависит от температуры воды, поэтому необходимо поддерживать постоянную температуру воды в зимний и летние периоды. Для отдувки воду необходимо подщелачивать, например, известью. Воздух с аммиаком пропускают через раствор серной кислоты с целью получения 10% раствора сульфата аммония или поглощают водой для получения аммиачной воды, используемой в качестве удобрения. При этом аммиак не выбрасывается в атмосферу.

Для удаления аммиака используют процесс адсорбации-хлорирования. Сначала сточную воду с аммиаком хлорируют, при этом в зависимости от условий образуется моно- или дихлорамин, треххлористый или молекулярный азот:



Так как все соединения хлора с аммиаком токсичны, необходимо провести сорбцию хлора и хлораминов активированным углем, фильтруя воду через слой угля.

Для удаления аммонийного азота целесообразно применять природный ионообменный материал – клиноптилолит, относящийся к классу цеолитов. Перед подачей воды на клиноптилолитовые фильтры из нее необходимо удалить взвешенные вещества. эффект очистки может достигать 90-97% [12].

Для регенерации используют 5-10% раствор хлористого натрия, после чего загрузку отмывают водой. Выделяющийся из раствора аммиак (при регенерации раствора отдувкой аммиака в щелочной среде) поглощают серной кислотой. Образующийся при этом сульфат аммония может быть использован в качестве удоб-

					13.03.01.2020.04.007 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		70

рения. Для удаления азотосодержащих органических соединений применяют различные виды перегонки, экстракцию, адсорбцию.

Азеотропную дистилляцию используют для выделения анилина из анилиновой воды при содержании его в воде около четырех процентов от общей массы. Более 95% анилина отделяется в виде гетероазеотропной смеси, органический анилиновый слой подвергают затем вакуум-ректификации с получением безводного анилина.

Один из широко применяемых способов очистки азотосодержащих органических соединений - экстракция. При правильном выборе экстрагентов с высоким коэффициентом распределения можно извлечь 99-99,5% целевых продуктов. Бутилацетатом удаляют из сточных вод капролактамы, бензол-нитробензол. Нитробензол в свою очередь, применяют для экстракции анилина[22].

В значительных масштабах для извлечения органических азотосодержащих веществ из сточных вод используют адсорбцию на активированном угле. Адсорбент подвергают термической деструктивной регенерации при температуре 800-1000 °С. Такая очистка эффективна практически для всех азотосодержащих органических соединений[19].

На существующей установке БХУ с двухступенчатой очисткой при наличии избытка растворенного кислорода, щелочности для нейтрализации кислот наблюдалось протекание самопроизвольной нитрификации летучего аммиака. При этом были случаи, когда снижение эффективности очистки было следствием изменения состава поступающих сточных вод.

Причина таких колебаний - концентрации высокомолекулярных ароматических углеводородов, реже – летучего аммиака и фенолов. При повышении в очищаемой воде концентрации даже одного загрязнителя начинается перестройка работы всего биоценоза вследствие необходимости дополнительного прироста бактерий, ответственных за его разрушение.

При этом активный ил теряет свою окислительную способность и всплывает на поверхность. В нем развиваются нитчатые формы бактерий (бактерии в присутствии которых ил не теряет своей очищающей способности, но вызывающие «вспухание» иловой смеси).

Потеря активного ила из системы очистки может достигать 30-70%. С учетом этого для стабильной работы БХУ необходимо поддерживать довольно высокую концентрацию активного ила в аэротенках – 1,5 – 4 г/дм³.

В процессе эксплуатации установки, что для очистки от фенолов, цианидов, роданидов и солей аммония в существующих двухступенчатых установках БХУ необходимо иметь дополнительные окислительные мощности. Без резерва окислительных мощностей развитие бактерий- нитрификаторов ингибирует жизнедеятельность других видов бактерий, что приводит к ухудшению очистки сточных вод.

Химическое потребление кислорода (ХПК) и соотношение биологического потребления кислорода (БПК) и ХПК в сточных водах коксохимического производства представлено в таблице 7.1.

					13.03.01.2020.04.007 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		71

Таблица 7.1 ХПК и соотношение БПК и ХПК в сточных водах

Наименование вещества	ХПК, мг О/мг вещества	БПК/ХПК, %
фенол	2,38	46,2
о-, м-, п- крезолы	2,52	62
пирокатехин	1,89	77,8
резорцин	1,89	79,4
гидрохинон	1,89	40
бензол	3,07	37,4
толуол	1,87	58,8
ксилол	3,17	30,9
пиридин	2,43	60,5
хинолин	1,97	71,2
индол	3,07	91
роданиды	1,55	не опр.
цианиды	0,59	не опр.
формальдегид	1,07	67,3
коксохимические общие масла	4,1	не опр.

Для дополнительной окислительной мощи можно использовать мембранный биореактор (МБР) вместо аэротенка. На рисунках 7.1 и 7.2 показана эффективность работы мембранных биореакторов по снижению ХПК и азота[19].

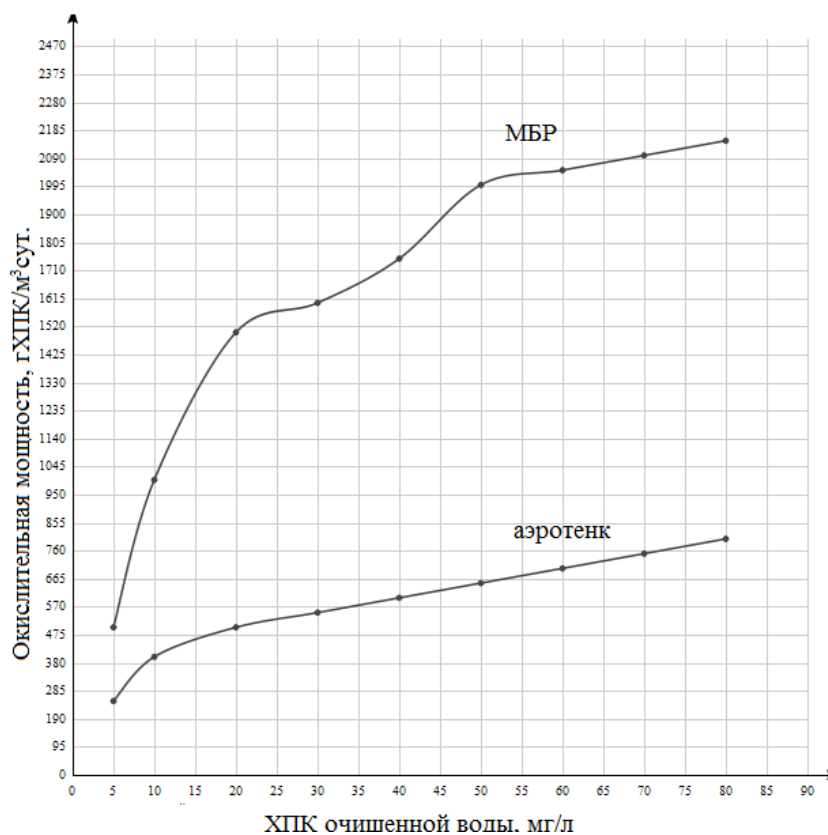


Рисунок 7.1 зависимость окислительной мощности от качества очищенной воды по ХПК

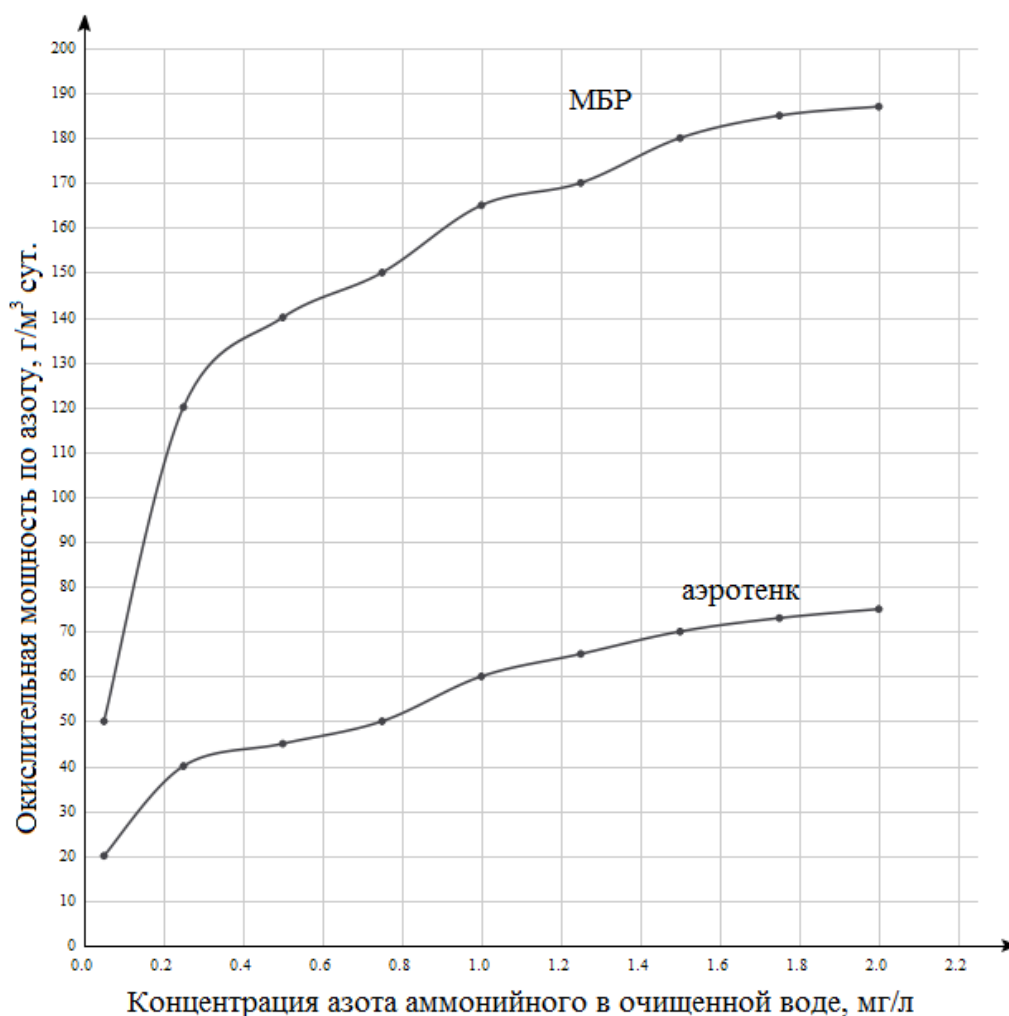


Рисунок 7.2 зависимость окислительной мощности от качества очищенной воды по азоту

Основными преимуществами внедрения технологии мембранных биореакторов являются: повышение эффективности и надежности очистных сооружений; повышение производительности очистных сооружений за счет увеличения концентрации активного ила в азротенках; создание компактных очистных сооружений за счет замены вторичного отстаивания и фильтрации на фильтрах различного типа на мембранную доочистку; снижение объема избыточного активного ила.

Как итог можно установить, что подача кислорода обеспечит жизнедеятельность большего количества бактерий, появляется возможность более быстрого восстановления работоспособности иловой смеси при срывах, будут решены проблемы со вспениванием и запахами, появляется легко осуществима корректировка процесса при изменении нагрузки на реактора, но стоит учесть, что переизбыток кислорода может привести к гибели всех культур бактерий входящих в состав иловой смеси.

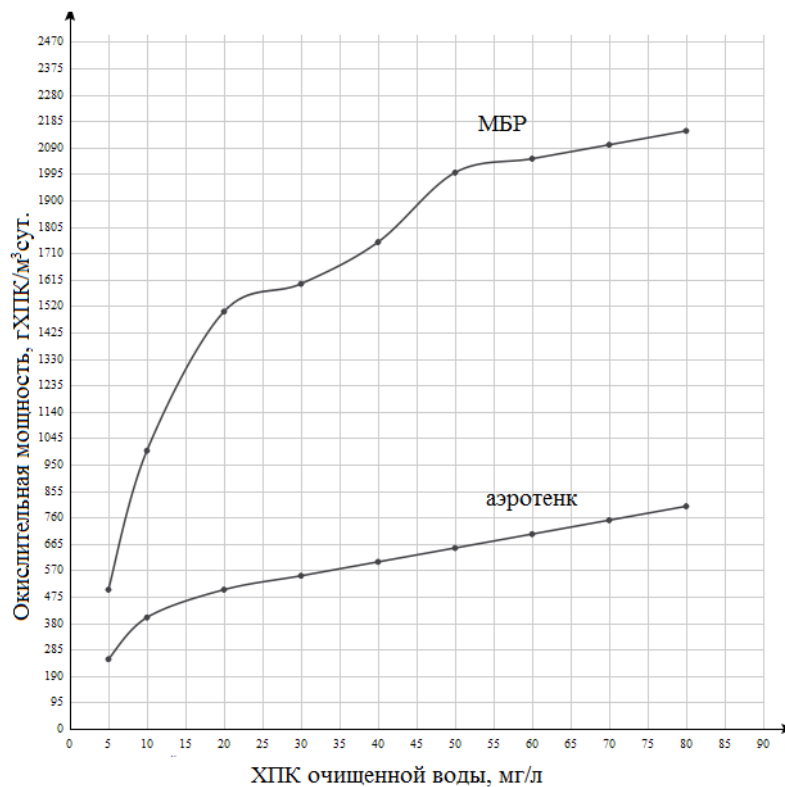


Рисунок 7.1 зависимость окислительной мощности от качества очищенной воды по ХПК

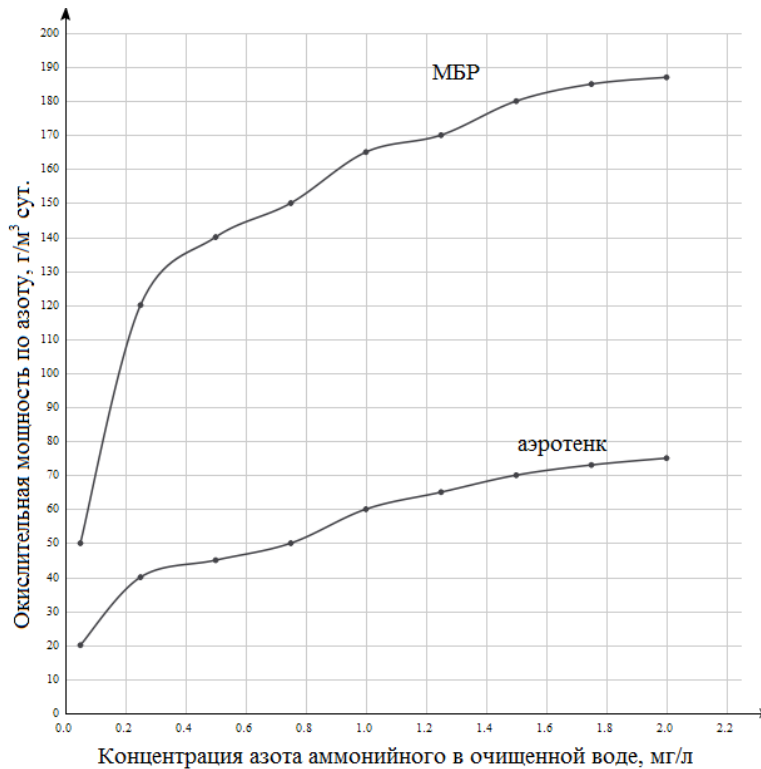


Рисунок 7.2 зависимость окислительной мощности от качества очищенной воды по азоту

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

13.03.01.2020.04.007 ПЗ

Лист

74

Основными преимуществами внедрения технологии мембранных биореакторов являются: повышение эффективности и надежности очистных сооружений; повышение производительности очистных сооружений за счет увеличения концентрации активного ила в аэротенках; создание компактных очистных сооружений за счет замены вторичного отстаивания и фильтрации на фильтрах различного типа на мембранную доочистку; снижение объема избыточного активного ила.

Как итог можно установить, что подача кислорода обеспечит жизнедеятельность большего количества бактерий, появляется возможность более быстрого восстановления работоспособности иловой смеси при срывах, будут решены проблемы со вспениванием и запахами, появляется легко осуществима корректировка процесса при изменении нагрузки на реактора, но стоит учесть, что переизбыток кислорода может привести к гибели всех культур бактерий входящих в состав иловой смеси.

					13.03.01.2020.04.007 ПЗ	Лист
						75
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

8 АВТОМАТИЗАЦИЯ

На биохимической установке на ООО «Мечел-Кокс» установлена современная система автоматики. Степень автоматизации предполагает работу БХУ без постоянного присутствия обслуживающего персонала, а также предусматривает наличие диспетчеризации.

8.1. Автоматика БХУ

1. Ультразвуковой уровнемер, диапазон измерений от 0,25 до 12 м.
2. Интеллектуальный вихревой расходомер, диаметр условного прохода 150мм
3. Термопреобразователь сопротивления медный, микропроцессорный. Диапазон измеряемых температур от -50 до +180°C.
4. Ультразвуковой уровнемер, диапазон измерений от 0,25 до 12 м.
5. Ультразвуковой уровнемер, диапазон измерений от 0,25 до 12 м.
6. Термопреобразователь сопротивления медный, микропроцессорный. Диапазон измеряемых температур от -50 до +180°C.
7. Ультразвуковой уровнемер, диапазон измерений от 0,25 до 12 м[4].

Данная автоматика используется в узле после первой однофазной очистки и регенераторах. Используемые контрольно-измерительные приборы выводятся на дисплей у оператора биохимической установки и позволяют дистанционно оценивать работу всей установки.

					13.03.01.2020.04.007 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		76

9 ВОПРОСЫ ЭКОЛОГИИ

Коксохимическая промышленность, как и черная металлургия в целом, в экологическом отношении одна из наиболее сложных отраслей промышленности. Принципиальные решения в этой отрасли были разработаны в период, когда вопросы охраны природы не принимались во внимание. В настоящее время ситуация изменилась – превращение коксохимической промышленности в малоотходное производство и резкое улучшение экологической обстановки в коксохимии является решающим условием ее существования.

9.1. Расчет расхода сжатого воздуха

Количество сточной воды, подвергающейся очистке, м³/ч- 200
Расход сжатого воздуха в питомник ФРК, питомник РРК, м³/ч- 300
Расход сжатого воздуха в усреднитель на 1м³, м³/ч- 30
Расход сжатого воздуха в усреднители 6000 м³/ч
Расход сжатого воздуха на реакторы (9.1)[23]:

$$G = \frac{ХПК \cdot J \cdot K \cdot 100}{0,21 \cdot 1,429 \cdot \psi \cdot 0,8} \quad (9.1)$$

где *ХПК* – химическое потребление кислорода, мг О₂/л;

J – производительность БХУ по очищенной сточной воде, м³/ч;

K – коэффициент неравномерности поступающей сточной воды;

0,21 – объемная доля кислорода в воздухе;

1,429 – плотность кислорода при нормальных условиях, кг/м³;

ψ – коэффициент использования кислорода при нормальных условиях, %;

0,8 – коэффициент использования растворенного кислорода для биохимического окисления.

$$G = \frac{(2700 - 500) \cdot 200 \cdot 1,2 \cdot 100}{0,21 \cdot 1,429 \cdot 12 \cdot 0,8 \cdot 1000} = 22500 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Расход сжатого воздуха в преаэратор составляет – 300 м³/ч

Расход сжатого воздуха в питомник ФРК- 300 м³/ч

Расход сжатого воздуха в питомник РРК- 300 м³/ч

Суммарный расход сжатого воздуха 29400 м³/ч

Расчет и подбор основного оборудования для биохимической установки.

					13.03.01.2020.04.007 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		77

Расчет объема усреднителя. Продолжительность пребывания сточной воды в усреднителе 24 часа: $24 \cdot 200 = 4800 \text{ м}^3$.

Объем реакторов (9.2):

$$V = \frac{\Delta W_{\text{хлк}} \cdot Q \cdot 24}{\text{ХПК} \cdot 1000} \quad (9.2)$$

где Q – окислительная мощность по ХПК

Принимаем $V=1000 \text{ м}^3$

Для установки потребуется 10 реакторов

$$V = \frac{2200 \cdot 200 \cdot 24}{0,65 \cdot 1000} = 16246 \text{ м}$$

Объем вторичных отстойников.

Время пребывания сточной воды во вторичном отстойнике – 2 часа: $200 \cdot 2 = 400 \text{ м}^3$

Расчет сооружений отделения механической очистки.

Объем первичных отстойников. Время пребывания сточной воды в первичных отстойниках -6 часов: $200 \cdot 6 = 1200 \text{ м}^3$.

Объем преаэратора: $200 \cdot 0,25 = 50 \text{ м}^3$.

Расход реагентов.

Расход щелочного реагента (9.3):

$$Q = \frac{J \cdot (C_{\text{NH}_4} - C_{\text{NH}_4}) \cdot 106}{18 \cdot 1000} \quad (9.3)$$

где J - количество сточной воды, $\text{м}^3/\text{ч}$

C_{NH_4} - содержание аммонийного азота в пересчете на NH_4^+ до очистки, мг/л

Расход щелочного реагента рассчитывается из условия, что 1 Моль окисляемого аммонийного азота расходуется 2 Моль соды

$$Q = \frac{200 \cdot (250 - 20) \cdot 106}{18 \cdot 1000} = 294 \text{ кг/ч}$$

Учитывая данные лабораторных исследований на опытной установке расход соды составил 50% от теоритически необходимого количества, то есть 147 кг/ч

Расход 100% соды в год составляет $1 \cdot 287 \cdot 720 \text{ кг} = 1287 \text{ тонн}$.

Расход марганцового калия.

					13.03.01.2020.04.007 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		78

Реагент, подаваемый в количестве 5г на 1 м³ сточной воды 5 · 200 = 1 000 гр используя 1-2% раствор.

Расход сернокислого закисного железа.

Подается 5-10% раствор в количестве 100 гр на 1 м³ сточной воды 200 · 100 = 20 кг.

Расчет прироста ила в сухом весе.

Прирост активного ила (в сухом весе) находим по формуле (9.4)[3]:

$$P_j = 0,8 \cdot C_{ср} + K_g \cdot J_{сп} \quad (9.4)$$

где $C_{ср}$ – концентрация взвешанных веществ в сточной воде, поступающей в аэротенки.

K_g коэффициент прироста ила, для КХЗ равен 0,2

$J_{сп}$ – БПК полное поступающей в аэротенки сточной воды (с учетом снижения БПК при механической очистки), мг/л

$$P_j = 0,8 \cdot 0,2 \cdot 1350 = 310 \text{ мг/л}$$

В час прироста ила в расчете на сухую массу составляет:

$$310 \cdot 200 / 1000 = 62 \text{ м}^3/\text{ч}$$

					13.03.01.2020.04.007 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		79

10 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Биохимическая установка находится в Цехе Улавливание №2, который входит в состав Челябинского металлургического комбината. Комбинат является предприятием с полным металлургическим циклом.

10.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов

Биохимическая установка предназначена для отчистки сточных вод после мокрого тушения кокса. Сточная вода содержит различные вредные химические соединения.

При обслуживании биохимической установки на оператора могут иметь воздействие следующие опасные и вредные производственные факторы (ОВПФ), в соответствии с Р 2.2.2006-05 «Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда» и с ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» [10]:

- химические;
- физические;
- психофизиологические.

Рассмотрим каждую классификацию ОВПФ подробнее:

1. Химические ОВПФ

Вредное воздействие составляющих компонентов сточных воды: в сточных водах КХЗ содержатся вредные вещества, основными из которых являются фенолы, аммиак, роданиды, цианиды, сероводород, масла и смолы и т.д. В технологическом процессе используется ортофосфорная кислота, сернокислородное железо и углекислый натрий.

- Фенолы

Фенолы действуют на нервную систему, обладают местным прижигающим и раздражающим действием. Вдыхание паров вызывает раздражение дыхательных путей, одышку, хрипоту, расстройство пищеварения, тошноту, рвоту. Одноатомные фенолы (летучие) - сильный нервный яд, вызывают общее отравление организма. Предельно-допустимая концентрация (ПДК) фенолов в воздухе рабочей зоны 3 мг/м³ [11].

- Цианиды

Цианиды – соли цианистоводородной (синильной) кислоты - сильный яд, вызывают быстрое удушье из-за паралича верхних дыхательных путей. ПДК в воздухе рабочей зоны 0,8 мг/м³ [11].

- Аммиак

Аммиак - бесцветный горючий газ с острым запахом. Вызывает раздражение слизистых оболочек, слезотечение, удушье, сильные приступы кашля. При тяжелых отравлениях вызывает расстройство дыхания и кровообращения. ПДК в воздухе рабочей зоны 20 мг/м³ [11].

					13.03.01.2020.04.007 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		80

- Сероводород

Сероводород – бесцветный газ с характерным запахом тухлых яиц. Сильный нервный яд. Вызывает раздражение дыхательных путей, слезотечение, светобоязнь, жжение в глазах, тошноту, головную боль, помрачнение сознания. В тяжелых случаях мгновенно вызывает судороги и смерть от остановки дыхания и отека легких. ПДК в воздухе рабочей зоны 10 мг/м^3 [11].

- Углекислый натрий

Углекислый натрий – порошок белого цвета. Вдыхание пыли углекислого натрия приводит к раздражению верхних дыхательных путей, изъязвлению слизистой оболочки носа. Длительный контакт с растворами углекислого натрия вызывает экземы, дерматиты, изъязвления кожи. ПДК в воздухе рабочей зоны 2 мг/м^3 [38]. При попадании на кожу – промыть пораженное место под струей воды в течение около 10 мин., затем приложить примочки со слабым раствором уксусной или лимонной кислоты. При попадании в глаза – немедленно промыть под струей воды.

Симптомы отравления испарениями сточной воды: головная боль, тошнота, рвота, головокружение, одышка, потеря сознания и судороги.

Первая помощь при отравлении испарениями сточных вод: вынести пострадавшего на свежий воздух, освободить от стесняющей одежды, обеспечить покой, тепло, организовать подачу кислорода для дыхания, при необходимости вызвать врача. При попадании на кожу - промыть пораженное место теплой водой с мылом, смазать питательным кремом.

- Ортофосфорная кислота

Пары ортофосфорной кислоты вызывают раздражающее и прижигающее действие на верхние дыхательные пути. При длительном действии вызывают атрофические изменения в слизистой оболочке носа, в отдельных случаях приводят к раздражению крыльев носа и прободению носовой перегородки. Возможны носовые кровотечения, сухость в носу и горле, крошение зубов. При попадании на кожу вызывает прижигающее действие и воспалительные заболевания кожи. ПДК в воздухе рабочей зоны 10 мг/ м^3 [38].

При раздражении слизистой дыхательных путей – свежий воздух, ингаляции с раствором пищевой соды. При попадании на кожу немедленно промыть пораженное место проточной водой, сделать примочки с раствором пищевой соды. При попадании в глаза – немедленное обильное промывание водой, затем при необходимости закапать раствор новокаина и обратиться в медпункт.

2. Физические ОВПФ:

- высокая температура поверхностей оборудования(реактор)
- повышенная температура воздуха в рабочей зоне,
- средний уровень шума на рабочем месте(насосы, вентиляция).

3. Психофизиологические ОВПФ рассматриваются по двум направлениям: а) тяжесть трудового процесса:

- физическая динамическая нагрузка,
- масса поднимаемого и перемещаемого груза вручную,

					13.03.01.2020.04.007 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		81

- стереотипные рабочие движения,
- рабочая поза,
- наклоны корпуса,
- перемещения в пространстве, обусловленные технологическим процессом. б) напряженность трудового процесса:

- интеллектуальные нагрузки (решение простых задач по инструкции, работа по установленному графику с возможной его коррекцией по ходу деятельности),
- сенсорные нагрузки (наблюдение за работой оборудования, наблюдение параметров на экране монитора и на контрольно-измерительных приборах),
- монотонность нагрузок,
- режим работы.

4. Травмоопасные факторы:

- нагретые элементы оборудования(реактор),
- оборудование, находящееся под давлением,
- возможность поражения электрическим током (повреждение электропривода и так далее).

5. При эксплуатации биохимической установки и работе основного и вспомогательного оборудования могут возникнуть следующие аварийные ситуации:

- прорыв трубопровода
- разгерметизация ректора
- аварийное отключение электроэнергии,

10.2 Безопасность производственных процессов и оборудования. Пожаровзрывобезопасность

10.2.1 Определение категории взрыво- и пожароопасности

Классификация зданий и помещений по взрывопожарной и пожарной опасности применяется для установления требований пожарной безопасности, направленных на предотвращение возможности возникновения пожара и обеспечение противопожарной защиты людей и имущества в случае возникновения пожара.

По взрывопожарной и пожарной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В1-В4, Г и Д, а здания - на категории А, Б, В, Г и Д.

Категории помещений и зданий определяются, исходя из вида находящихся в помещениях горючих веществ и материалов, их количества и пожароопасных свойств, а также, исходя из объемно-планировочных решений помещений и характеристик проводимых в них технологических процессов.

В соответствии с НПБ 105-03 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности» [34] биохимическая установка относится к категории "Д", так как сооружения представляют собой набор железобетонных ёмкостей, заполненных сточными водами, производственные помещения (здания насосных, воздуходувных) выполнены из негорючих элементов. Согласно ФЗ-123 здание, в которой располагается оператор-

					13.03.01.2020.04.007 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		82

ская БХУ относится к категории Ф5.1 [36].

Требования пожарной безопасности при эксплуатации установки Согласно ФЗ-123 и «Правилами противопожарного режима в Российской Федерации» при эксплуатации объектов данного типа установлены следующие требования пожарной безопасности: в исполнение противопожарного режима, рабочие установки время от времени контролируют, обходят и тщательно осматривают помещения, территорию, замечая следующее: состояние противопожарных выходов (путей эвакуации), проходов к инвентарю пожаротушения; отключение электронагревательных приборов, электрооборудования, за исключением электрооборудования приборов, работающие круглосуточно по условиям технического процесса; чистку помещения, территории цеха и оборудования; состояние шкафов, мусорных ящиков, урн и прочего для уборки из них горючего и самовозгорающегося мусора.

Способы и средства пожаротушения.

Объекты цеха обеспечены первичными средствами пожаротушения:

Огнетушитель ОП-5 (ОПУ-5) – порошковые предназначены для тушения всех классов пожаров: горючих газов, ЛВЖ, ГЖ, твёрдых веществ и материалов, установок под напряжением до 1000 вольт при температуре от -35 до +50°С.

Огнетушитель ОУ-2, ОУ-5 – углекислотный предназначен для тушения различных веществ, электроустановок под напряжением до 1000 В.

Песок – для механического сбивания плёнки и изоляции горящего материала от воздуха.

Асболоотно, войлок (кошма) – для тушения малых очагов горения путём накрытия очага с целью прекращения к нему доступа воздуха.

10.3. Электробезопасность

Электробезопасность осуществляется по ГОСТ 12.1.019 – 79 ССБТИ – 1.01.86[33]. Применяемые электроприборы должны быть заводского изготовления, иметь паспорт и инструкцию завода изготовителя. Находящиеся в эксплуатации приборы, независимо от их мощности, должны иметь постоянное место с достаточной тепловой изоляцией.

Электропроводка в помещении должна располагаться в местах, исключающих попадание на нее жидких продуктов. Токоведущие части электротехнических установок и осветительных сетей должны быть заземлены в соответствии с «Правилами устройства электроустановок». Защитные средства (изолирующие подставки, коврики, перчатки и т.д.), связанные с предупреждением поражения электрическим током, должны соответствовать требованиям «Правил использования и испытания защитных средств».

					13.03.01.2020.04.007 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		83

11 ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ

В г. Челябинске на ООО «Мечел-Кокс» в Цехе Улавливание №2 расположена система утилизации фенольных вод. Для замены морально и физически устаревшего оборудования, снижения выбросов загрязняющих веществ в атмосферу проводится модернизация системы утилизации фенольных вод.

Для оценки принятого решения по модернизации проведен технико-экономический расчет, на основании которого мы рассчитаем срок окупаемости. Для реализации проекта необходимо составить план мероприятий.

11.1 Технико-экономический расчет

Рассчитаем капитальные затраты на реализацию проекта и разницу текущих затрат на эксплуатацию рассматриваемого оборудования до и после модернизации.

11.1.1 Смета капитальных затрат

Смета капитальных затрат на модернизацию установки определяется по прейскуранту заводов-изготовителей и сведена в таблицу 11.1.

Таблица 11.1 – Смета капитальных затрат на модернизацию установки

Наименование	Количество, Шт.	Цена, тыс. руб.	Стоимость, тыс. руб.
1	2	3	4
1. Оборудование и материалы:	-	-	5460
Реактор с якорной мешалкой	2	1300	2600
Фильтр с синтетическим волокном	2	340	680
Сушильная печь	1	700	700
Дробилка	1	240	240
Классификатор	1	190	190
Емкость для фосфорной кислоты с дозатором	1	220	220
Емкость фильтрата	1	160	160

Продолжение таблицы 11.1

1	2	3	4
Емкость для раствора соли с дозатором	1	22	220
Емкость для готовой глины	1	220	220
2. Разработка проектно-сметной документации	1	4500	4500
3. Демонтажные работы	1	120190	120190
4. Строительно-монтажные работы	1	370891	370891
5. Транспортные расходы	1	21200	21200
6. Пуско-наладочные работы	1	137207	137207
Итого	–	–	659448

Общие капитальные вложения в модернизацию установки утилизации фенольных вод (11.1):

$$K = K_{пр} + K_{д} + K_{смр} + K_{тр} + K_{пнр} + K_{об} \quad (11.1)$$

где $K_{пр}$ – стоимость составления проектно-сметной документации, тыс. руб. (по данным ООО «Мечел-Кокс» [38]);

$K_{д}$ – стоимость демонтажных работ, тыс. руб. (по данным ООО «Мечел-Кокс» [38]);

$K_{смр}$ – стоимость строительно-монтажных работ, тыс. руб. (по данным ООО «Мечел-Кокс» [38]);

$K_{тр}$ – стоимость транспортных услуг по доставке оборудования и материалов, тыс. руб. (по данным ООО «Деловые линии» [39]);

$K_{пнр}$ – стоимость пусконаладочных работ, тыс. руб. (по данным ООО «Мечел-Кокс» [38]);

$K_{об}$ – стоимость оборудования и материалов, тыс. руб. (по прейскурантам заводов-изготовителей) [40 – 44].

$$K = 4500 + 120190 + 370891 + 21200 + 137207 + 5460 = 659448 \text{ тыс. руб.}$$

11.1.2 Смета текущих затрат

Рассчитаем смету затрат до модернизации. Годовая производительность биохимической установки по воде Q , т/год, находится по формуле (11.2):

$$Q = P \cdot \tau_{\text{фep}} \quad (11.2)$$

где P – производительность установки за час, равная $120 \text{ м}^3/\text{час}$ [38];
 $\tau_{\text{фep}}$ – фактическое время работы установки в год, равное 8760 часов [38].

$$Q = 200 \cdot 8760 = 1752000 \text{ м}^3/\text{час}$$

Базовая себестоимость одной тонны воды существующей биохимической установки представлена в таблице 11.2, данные приведены из бухгалтерской отчетности ООО «Мечел-Кокс» Цех Улавливание №2 [38].

Таблица 11.2 – Себестоимость 1 тонны очищенных сточных вод до модернизации установки

Наименование	Сумма, тыс.руб/т
1. Энергетические затраты	0,04023
2. Основная заработная плата	0,00843
3. ЕСН	0,00243
4. Текущий ремонт	0,00207
5. Инструмент	0,00
6. Содержание основных средств	0,00138
7. Аренда основных средств	0,00122
8. Охрана труда	0,00053
9. Прочие расходы	0,00
10. Работа транспортных цехов	0,00083
11. Капитальный ремонт	0,00
12 ОПР	0,00314
Итого	0,06024

11.1.3 Расчет срока окупаемости проекта

Рассчитаем смету затрат после модернизации установки утилизации фенольных вод.

1) Фонд заработной платы.

Число работников на новой установке составит 9 человек, в том числе:

– операторов пятого разряда – 8 человек;

– бригадир шестого разряда – 1 человек.

График работы операторов – железнодорожный, 4-х бригадный;

График работы бригадира – дневной, 8-и часовой. Часовая тарифная ставка:

– оператора – 55 рублей [38];

– бригадира – 100 рублей [38].

Фактическое время работы операторов составляет 17520 часов, фактическое время работы бригадира – 1992 часа. Заработная плата бригадира за год составляет 1745786 руб., а у операторов общая заработная плата составляет 385592 руб. Общая заработная плата составит 2131378 руб. Доля заработной платы на 1 тонну воды составляет 1,2 руб./т.

2) Единый социальный налог (ЕСН) и отчисления в соц. страх на травматизм, равен 28% от общей заработной платы и составляет 596785 руб. Доля ЕСН на 1 тонну воды равен 0,34 руб./т.

3) Амортизация составляет 8% от стоимости оборудования и равна 502,32 тыс. руб. Доля амортизации на 1 тонну воды составляет 0,29 руб/т.

Итоги сводим в таблицу 11.3 плановой себестоимости

Таблица 11.3 Плановая себестоимость 1 тонны воды после модернизации установки

Наименование	Количество	Цена, тыс.руб.	Сумма, тыс. руб
1. Энергетические затраты:	–	–	0,4287
- электроэнергия, кВт	8,3	0,003	0,025
- техническая вода, м ³	3	0,0014	0,0042
- пар, Гкал	25	0,137	0,342
2. Реагенты:	-	-	0,0206
- железный купорос	3	0,0065	0,0195
- ортофосфорная кислота	0,2	0,042	0,0008
- монтмориллонит	0,00183	18	0,0003
3. Основная зар. плата	–	–	0,00203
4. ЕСН	–	–	0,00057
5. Амортизация	–	–	0,000502
Итого	–	–	0,070863

Условно-годовая экономия рассчитывается по формуле (11.3):

$$\Delta C = (C_{\text{баз}} - C_{\text{пл}}) \cdot Q \quad (11.3)$$

$$\Delta C = (0,06024 - 0,070863) \cdot 1752000 = -18611,496 \text{ тыс.руб./год}$$

Издержки производства увеличились на 18611,496 тыс.руб./год.

Годовая экономия ($G_э$) за счет снижения расходов на техническую воду составляет 4257,36 тыс.руб./год по данным ООО «Мечел-Кокс» [38];. Определим экономию по снижению экологических платежей. В настоящее время предприятие за выброс в атмосферу не очищенных фенольных вод при тушении кокса, выплачивает экологический налог в размере 50 млн. рублей [45].

Рассчитаем экономическую эффективность по формуле (11.4):

$$\mathcal{E}_{\text{эф}} = \Delta C + G_э + H_{\text{эк}} \quad (11.4)$$

где $H_{\text{эк}}$ – снижение экологического налога

$$\mathcal{E}_{\text{эф}} = -18611,496 + 4257,36 + 50000 = 35645,864 \text{ тыс.руб./год}$$

Тогда срок окупаемости по формуле (11.5) составит:

$$T = \frac{C}{\mathcal{E}_{\text{эф}}} \quad (11.5)$$

где C – сумма итоговых затрат по смете.

$$T = \frac{659448}{35645,864} = 1,8 \text{ лет}$$

Вывод: срок окупаемости модернизации системы утилизации фенольных вод составит 1,8 лет, что значительно меньше нормативного срока – 2,5 года, значит, проект экономически эффективен.

11.2 Сравнительный анализ проектных решений

Для проведения этого анализа составляются матрицы, в которых указываются: S (Strengths) – сильные стороны; W(Weaknesses) – слабые стороны; O (Opportunities) – возможности; T (Threats) – угрозы.

					13.03.01.2020.007.04 ПЗ	Лист
						8
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Сильные (S) и слабые (W) стороны – это факторами внутренней среды объекта анализа (то есть тем, на что сам объект способен повлиять).

Возможности (O) и угрозы (T) – это факторами внешней среды (то что может повлиять на объект извне и не контролируется объектом).

В таблице 11.4 представлен SWOT-анализ после модернизации установки.

Таблица 11.4 – SWOT – анализ установки утилизации фенольных вод после модернизации

Сильные стороны	Слабые стороны
<ol style="list-style-type: none"> 1. Уменьшение выбросов загрязняющих веществ более чем в 2 раза 2. Уменьшение объема воды для подпитки 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Сложность в эксплуатации.
Возможности	Угрозы
<ol style="list-style-type: none"> 1. Прием на работу новых высококвалифицированных сотрудников 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Повышение цен на химические реагенты

Рассмотрим SWOT-анализ без модернизации (таблица 11.5).

Таблица 11.5 – SWOT–анализ установки утилизации фенольных вод без модернизации

Сильные стороны	Слабые стороны
<ol style="list-style-type: none"> 1. Отсутствие каких-либо затрат на строительные работы и оборудование 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Выброс большого количества вредных веществ в окружающую среду 2. Большие штрафы за влияние на экологию
Возможности	Угрозы
<ol style="list-style-type: none"> 1. Отсутствуют 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Рост цен на материал и оборудование для ремонта 2. Повышение штрафов за выброс загрязняющих веществ.

Исходя из проведенных SWOT-анализов установлено, что модернизация наиболее подходящий метод для очистки охлаждающей воды. Этот способ поможет уменьшить выбросы, а так же изменить экологическую ситуацию в регионе, что должно являться основной задачей предприятия.

11.3 Планирование целей проекта в дереве целей

Дерево целей – это структурированная, построенная которой основывается на иерархическом принципе, т.е. распределения по уровням, ранжированию, совокупность целей проекта, где выделяется «верхушка дерева» или генеральная цель

и подчиненные ей подцели нескольких уровней организации, так называемые «ветви дерева». Метод дерева целей ориентирован на получение относительно устойчивой структуры целей, проблем, направлений. Основная ценность построения дерева целей – отображение способа достижения главной цели через составление перечня понятных и достижимых целей нижнего уровня. На рисунке 11.1 изображено планирование целей проекта модернизации системы утилизации фенольных вод на ООО «Мечел-Кокс».

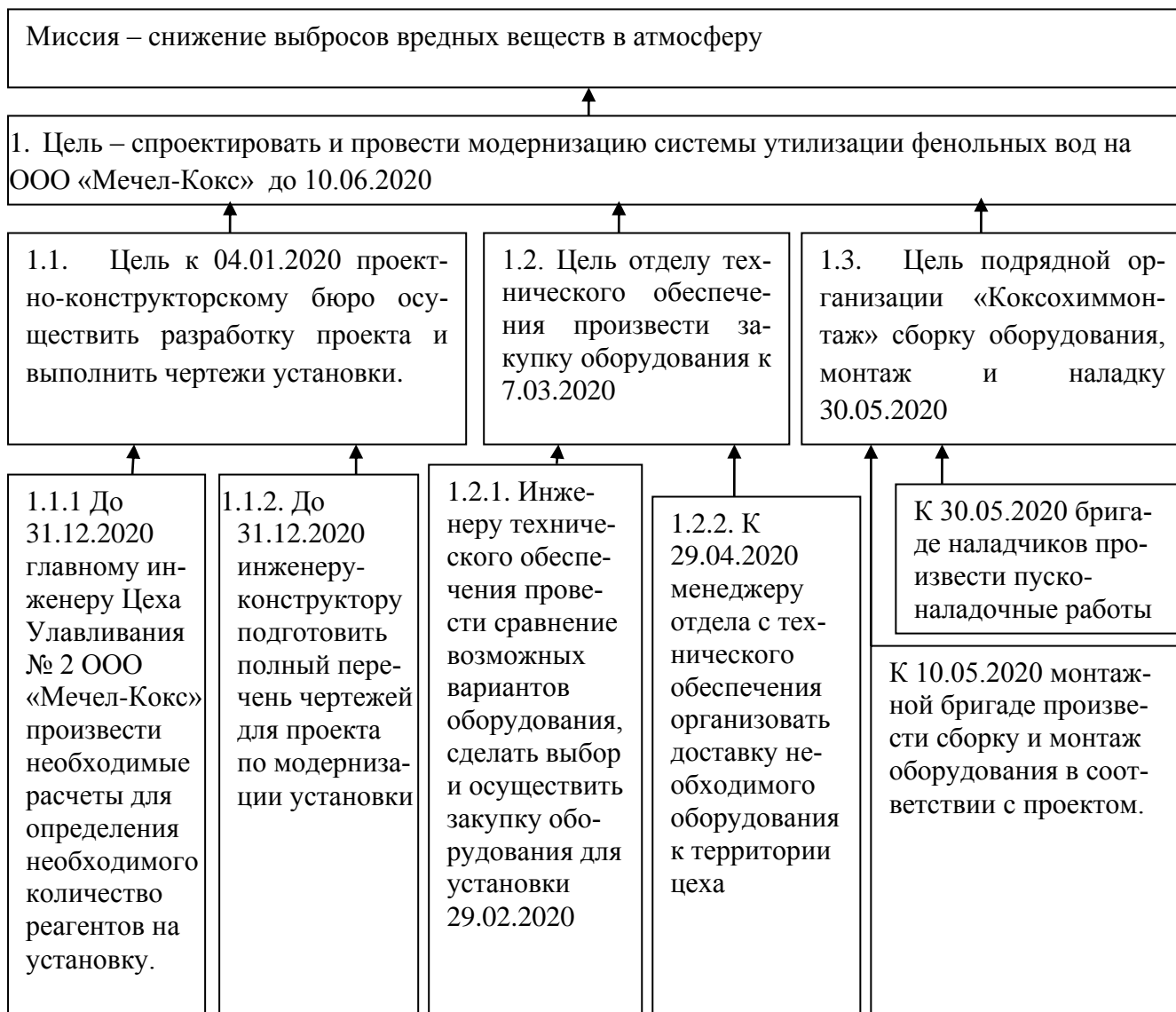


Рисунок 11.1 – Дерево целей проекта

11.4 График Ганта

Ленточный график Ганта — это тип столбчатых диаграмм, который используется для иллюстрации графика работ по проекту. График Ганта состоит из полос, ориентированных вдоль оси времени. Каждая полоса на диаграмме представляет

отдельную задачу в составе процесса реализации проекта, её концы — моменты начала и завершения работы, её протяженность — длительность выполнения поставленной задачи. Вертикальной осью диаграммы служит перечень задач.

В таблице 11.6 показан график Ганта, составленный для модернизируемой установки.

Таблица 11.6 – График Ганта для модернизации установки утилизации фенольных вод на ООО «Мечел-Кокс»

	2019								2020																											
	Ноябрь				декабрь				январь				февраль				март				апрель				май				июнь							
Этап проекта	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				
Проведение расчета для определения количества реагентов	■	■	■	■																																
Подготовка чертежей проекта					■	■	■	■																												
Выбор метода модернизации									■	■	■	■																								
Закупка оборудования													■	■	■	■	■																			
Доставка оборудования																	■	■	■	■																
Монтаж оборудования																					■	■	■	■	■											
Наладочные и ремонтные работы																													■	■	■	■				
Пусковые работы																																	■	■	■	■

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выпускной квалификационной работы были проведены расчеты материального и теплового балансов коксовой батареи. Проведено сравнение различных способов утилизации фенольных вод, на основании сравнения был выбран способ биохимической очистки, так как он имеет ряд преимуществ по сравнению с другими способами. Был проведен расчет необходимого количества воздуха на окисление. В разделе научной части изучен вопрос очистки сточных вод от соединений азота. В разделе автоматика рассмотрена схема автоматизации узла биохимической установки.

В разделе «Безопасность жизнедеятельности» произведен анализ опасных и вредных производственных факторов, определена категория пожароопасности биохимической установки, рассмотрены требования пожарной безопасности при эксплуатации установки, а также электробезопасность.

В разделе «Экономика и управление» были рассчитаны капитальные и текущие затраты установки очистки фенольных вод. Также был выполнен SWOT-анализ проектных решений, построено дерево целей предприятия, произведена оценка движущих и сдерживающих сил проекта, а также проведено планирование мероприятия в виде графика Ганта

Актуальность повышения энергетической и экологической эффективности систем химической водоочистки обоснованно концепцией устойчивого развития страны. Суть концепции состоит в удовлетворении потребностей современного человека и будущих поколений, в осуществлении данной концепции существенный вклад должна внести коксохимическая промышленность.

										Лист
										12
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.01.2020.007.04 ПЗ					

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алабугин, А.А. История и методология науки и техники для направления подготовки «Теплоэнергетика и теплотехника»: учебное пособие / А.А. Алабугин, Р.А. Алабугина. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2018. – 98 с.
2. Алабугин, А.А. Экономико-управленческая часть выпускных квалификационных работ для направления подготовки «Теплоэнергетика и теплотехника»: учебное пособие/ А.А. Алабугин, Р.А. Алабугина. – Челябинск.: Издательский центр ЮУрГУ, 2018. – 44 с.
3. Антипова В.В. Очистка фенольных сточных вод коксохимического производства за рубежом. /: В.В. Антипова Черная металлургия Бюл. ин -та Черметинформация, Москва, 2009. – 168 с.
4. ГОСТ 21–404–85. Автоматизация технологических процессов. Обозначения условные приборов и средств автоматизации в схемах.
5. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов. Л.: Химия, 1987. –576 с.
6. Мастрюков Б.С. Теплотехнические расчеты промышленных печей. Издательство. М.: Металлургия, 1972. –360 с.
7. Чистяков А.Н. Технология коксохимического производства в задачах и вопросах. М.: Металлургия, 1983. –296 с.
8. Жидко А.С. Тепловой и гидравлический расчет коксовых печей. Учебное пособие. Харьков: Харьковская типография, 1974. –121 с.
9. Вирозуб И.В., Лейбович Р.Е. «Расчёты коксовых печей и процессов коксования». Киев: Вища школа, 1970. –266 с.
10. Р 2.2.2006-05 «Руководство, по гигиенической оценке, факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда».
11. ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ «Опасные и вредные производственные факторы».
12. Классификация». – М.: ИПК Издательство стандартов, 2002.
13. ФЗ-123 «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности». – М.: ФГУ ВНИИПО, 2008. – 156 с.
14. «Правила противопожарного режима в Российской Федерации», актуализированная версия от 6 марта 2015 года.
15. ГН 2.2.5.3532-18 Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны
16. ГОСТ 12.1.030-81 «Электробезопасность. Защитное заземление, зануление».
17. «Очистка сточных вод коксохимических производств.» / В.М. Кагасов, Е.К. Дербышева. – Екатеринбург: Полиграфист, 2003. – 189 с.
18. Ильин, В.И. Обезвреживание сточных вод коксохимического производства с использованием электрофлотации / В.И. Ильин, В.А. Колесников, Ю.И. Паршина // Кокс и химия. – 2003. – №7. – С. 43–46

									13.03.01.2020.007.04 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						13

19. Харитонов, Н.Д. Способ очистки сточных вод от фенолов, роданидов и аммонийного азота в одной ступени аэротенков / Н.Д. Харитонов // Кокс и химия. – 2000.
20. Лайнер, В.И. Вопросы обезвреживания сточных вод в металлургии / В.И. Лайнер. – М.:Металлургия. – 1962. – 118 с.
21. Гаммер, П.И. Очистка воды промышленных предприятий / П.И. Гаммер. – М.: Стройиздат. – 1968. – 204 с
22. Конторович, В.А. Технология очистки сточных вод КХП с подготовкой для использования в оборотном цикле / В.А.Конторович // Кокс и химия. – 2001.
23. Фатихова, Н.И. Очистка сточных вод от фенольных соединений с использованием водорослей *CladophoraAegagropila*/ Н.И. Фатихова, Г.Г. Ягофарова // Вестник технологического университета. – 2016.
24. Аксенов, В.И. Водное хозяйство промышленных предприятий / В.И. Аксенов. – М.: Теплотехник. – 2005. – 640 с.
25. Жищенко, В.В. Экологические аспекты очистки сточных вод коксохимического производства / В.В. Жищенко, О.А. Полях // Труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – 2016.
26. Игнатова, А.Ю. Метод повышения эффективности биологической очистки сточных вод химических производств / А.Ю. Игнатова, А.А. Новоселова, А.В. Папин // Вода и экология: проблемы и решения. – 2016.
27. Карманов, А.П. Технология очистки сточных вод: учеб. пособие / А.П. Карманов, И.Н. Полина. – Сыктывкар: СЛИ, 2015.
28. Козлова, И.В. Биохимическая очистка сточных вод коксохимических предприятий / И.В. Козлова, К.А. Боголюбов // Сборник трудов II Всероссийской молодежной научно-практической конференции. – 2017.
29. Колесников, В.А. Анализ, проектирование технологий и оборудования для очистки сточных вод / В.А. Колесников, Н.В. Меньшутина. – М.: ДеЛиПринт, 2005.
30. Лейбович, Р.Е. Технология коксохимического производства / Р.Е. Лейбович, Е.И. Яковлева, А.Б. Филатов. – М.: Металлургия, 1982. – 106 с.
31. Павлов, Д.В. Очистка сточных вод различных производств с применением наилучших доступных технологий / Д.В. Павлов, В. А. Колесников // Чистая вода: проблемы и решения. 2010. –112 с.
32. Штриплинг, Л.О. Основы очистки сточных вод и переработки твердых отходов: учеб. пособие / Л.О. Штриплинг, Ф.П. Туренко. – Омск: Изд-во Ом. гос. техн. ун-та, 2005. – 137 с.
33. Яковлев, С.В. Очистка производственных сточных вод / С.В. Яковлев. – М.: Стройиздат, 1988. – 512 с.
34. Распоряжение Правительства РФ от 13.11.2009 № 1715-р «Об Энергетической стратегии России на период до 2030 года»
35. Федеральный закон от 23.11.2009 года № 261–ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности».
36. Федеральный закон от 04.05.1999 № 96–ФЗ (ред. от 29.12.2014) «Об охране

						13.03.01.2020.007.04 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			14

атмосферного воздуха» (04 мая 1999 г.).

37. Правила по охране труда при выполнении электросварочных и газосварочных - Приложение к приказу Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 23 декабря 2014 г. N 1101н.

38.Официальный сайт ООО «Мечел–Кокс» – <http://www.mechel.ru/>

39.Официальный сайт ООО «Деловые линии» – <https://www.dellin.ru>

40.Официальный сайт ООО «Промбиофит» – <https://www.prombiofit.com/>

41.Официальный сайт Единого Metallургического портала – <http://chelyabinsk.metal100.ru/prodazha/Trubnyj-prokat/Truby-PPU/720x10/>

42.Официальный сайт ООО «АРЕОПАГ» – <https://www.areopag-spb.ru/>

43.Официальный сайт ООО «СМ Климат» – <https://www.spm.ru/>

44.Официальный сайт ООО «СП Теплообмен» – <https://www.sp-teploobmen.ru/>

45.Официальный сайт «КонсультантПлюс» – <http://www.consultant.ru/>

46.«Инструкция по эксплуатации коксовых батарей» ООО «Мечел-Кокс». 2003 –117с.

					13.03.01.2020.007.04 ПЗ	Лист
						15
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		