



## **Аннотация**

**Бакалаврскую работу выполнила:** Полянских Виктория Валерьевна

**Тема работы:** Оптимизация узла очистки отходящих газов процесса сушки синтетического бутадиен-стирольного каучука ООО «СИБУР Тольятти»

**Научный руководитель:** Шевченко Юлия Николаевна

Бакалаврская работа выполнена на 59 с., 14 рисунков, 7 таблиц, использовано 42 источника.

Объектом исследования является «Установка сушки, прессования синтетического бутадиен-стирольного каучука и приготовления раствора серной кислоты» (УСП СБСК) на ООО «СИБУР Тольятти»

В теоретической части рассмотрены физико-химические основы процесса сушки каучука и аппараты пылеочистки.

В ходе выполнения работы предложена модернизированная технологическая схема с измененной обвязкой узла очистки и подачи отработанного воздуха на сжигание.

Проведены расчеты материального баланса и аппарата для очистки отработанного воздуха.

Бакалаврская работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word и представлена на электронном носителе.

## Оглавление

Введение.....	5
Глава 1 Общая характеристика «УСП СБСК» и сущность процесса сушки каучука.....	7
1.1 Характеристика УСП СБСК.....	7
1.2 Характеристика производимой продукции.....	8
1.2.1 Каучук синтетический бутадиен-метилстирольный СКМС-30 АРКМ-15.....	8
1.2.2. Каучук синтетический БСК1502.....	9
1.3 Сушка каучука.....	9
1.3.1 Сушка на старых агрегатах .....	10
1.3.2 Сушка на новых агрегатах.....	12
1.4 Факторы сопровождающие процесс сушки.....	15
1.4.1 Конденсат.....	15
1.4.2 Химические стоки.....	18
1.4.3 Отработанный воздух (газы).....	27
1.5 Материальный баланс «УСП СБСК».....	28
Глава 2 Анализ существующей технологической схемы очистки и подачи отработанного воздуха на сжигание.....	33
2.1 Газоочистка с помощью скрубберов.....	33
2.1.1 Классификация скрубберов.....	35
2.1.2 Достоинства и недостатки скрубберов.....	41
2.2 Описание существующей технологической схемы очистки и подачи отработанного воздуха на сжигание.....	42
2.3 Сжигание отработанного воздуха.....	45
Глава 3 Предлагаемая схема очистки и сжигания отработанного воздуха.....	48
3.1 Скруббер ротационного типа.....	48

3.1.1	Технология очистки.....	49
3.1.2	Предлагаемая технологическая схема очистки и подачи отработанного воздуха на сжигание.....	50
3.1.3	Расчет аппарата.....	52
	Заключение.....	55
	Список используемых источников.....	56

## Введение

«Сушка - это удаление жидкости (чаще всего влаги, реже иных жидкостей, например летучих органических растворителей) из веществ и материалов тепловыми способами. Осуществляется путем испарения жидкости и отвода образовавшихся паров при подводе теплоты к высушиваемому материалу, чаще всего с помощью сушильных агентов, например нагретого воздуха. Цель сушки - улучшение качества каучука, при этом жидкость предварительно удаляют более дешевыми механическими способами (например, вакуумный насос или червячный агрегат), окончательно - тепловыми.

В химических производствах применяют, как правило, искусственную сушку, проводимую в специальных сушильных установках, в состав которых входят: сушильный агрегат, или сушилка, где непосредственно протекает процесс; вспомогательное оборудование - теплообменные аппараты (калориферы), тяго-дутьевое устройство (вентилятор, воздуходувка) и система пылеочистки, соответствующая нагреваемому сушильному агенту» [7].

В нашем случае для очистки отработанного воздуха по типу сушильных агрегатов подходят мокрые пылеуловители, а точнее скрубберы.

«Скрубберы - это аппараты, которые используют для очищения твердых или газообразных сред от примесей в различных химико-технологических процессах.

Мокрые пылеуловители имеют высокую эффективность очистки газов от мелкодисперсной пыли размером до 2 мкм. Работают по принципу осаждения частиц пыли на поверхность капель под действием сил инерции или броуновского движения. Отличаются небольшой стоимостью (без учета шламового хозяйства) и очень высокой эффективностью улавливания частиц по сравнению с сухими механическими пылеуловителями, а также имеется

возможность использовать их как абсорберы, для охлаждения и увлажнения (кондиционирования) газов в качестве теплообменников смешения.

Из недостатков пылеуловителей можно выделить: возможность забивания газоходов и оборудования пылью (при охлаждении газов) и потери жидкости вследствие брызгоуноса; необходимость антикоррозионной защиты оборудования при фильтрации агрессивных газов и смесей.

В мокрых пылеуловителях в качестве жидкости для орошения чаще всего применяют воду; при общем решении в вопросах пылеулавливания и химической газоочистки выбор жидкости для орошения (абсорбента), обуславливается процессом абсорбции»[12].

**Цель работы** – повысить эффективность процесса очистки отработанного воздуха от сушилок, а также минимизировать загрязнение сточных вод.

**Задачи работы:**

1. Изучить процесс сушки и возможность промышленного применения новой системы пылеочистки.
2. Предложить модернизированную технологическую схему, с измененной обвязкой узла очистки и подачи отработанного воздуха на сжигание.
3. Провести расчеты материального баланса и аппарата для очистки отработанного воздуха.

# Глава 1 Общая характеристика «УСП СБСК» и сущность процесса сушки каучука

## 1.1 Характеристика «УСП СБСК»

Производство каучука введено в эксплуатацию в 1961 г.

«Проектная мощность производства – 55 тыс. т/год. Достигнутая мощность на момент составления регламента (2014 год) ~ 31,578 тыс. т/год.

Установка сушки, прессования синтетического бутадиен-стирольного каучука и приготовления р-ра серной кислоты» включает в себя следующие стадии:

- прием латекса и его усреднение;
- коагуляция латекса;
- промывка и отжим крошки каучука;
- сушка крошки каучука;
- брикетирование и упаковка каучука.

Вспомогательные стадии процесса:

- прием концентрированной  $H_2SO_4$ , приготовление и подача раствора на стадию коагуляции;
- приготовление и циркуляция серума;
- прием, подогрев и подача умягченной воды;
- прием, хранение и подача раствора антиоксиданта ВС-1 в масле на смешение с латексом;
- приготовление, хранение и подача эмульсии антиоксиданта;
- приготовление, хранение и подача раствора коагулянта;
- прием, приготовление, хранение и подача антиадгезива;
- гидравлическая установка;
- переработка некондиционного каучука;
- подача отработанного воздуха из сушилок на сжигание;
- сбор и откачка парового конденсата;

- нейтрализация кислых стоков»[1].

## 1.2 Характеристика производимой продукции

### 1.2.1 Каучук синтетический бутадиен-метилстирольный

#### СКМС-30АРКМ-15

«Каучук синтетический бутадиен-метилстирольный СКМС-30АРКМ-15 должен выпускаться согласно технологического регламента «УСП СБСК» и подходить под требования и нормы ГОСТ 11138-78 с изм. № 1 - 6 и ТУ 2294-044-48158319-2010 с изм. № 3.

Каучук синтетический СКМС-30АРКМ-15 производится путем совместной полимеризацией бутадиена с  $\alpha$ -метилстиролом в эмульсии при температуре (4-8) $^{\circ}$ С с использованием в качестве эмульгатора смеси мыл диспропорционированной канифоли и синтетических жирных кислот либо комплексных эмульгаторов с содержанием высокоароматического масла»[36].

Для стабилизации каучука используется антиоксидант фенольно-аминного типа.

Таблица 1 - Физико-химические свойства и константы каучука синтетического СКМС-30АРКМ-15

Показатели	Характеристики
1. Внешний вид	Твердый материал темно-коричневого цвета без запаха
2. Плотность при 25 $^{\circ}$ С, г/см <sup>3</sup>	0,94
3. Растворимость	В воде не растворяется В ароматических растворителях растворяется
4. Температура воспламенения, $^{\circ}$ С	285
5. Температура самовоспламенения, $^{\circ}$ С	336
6. Реакционная способность	Окисление, деструкция
7. Другие показатели	Стабилен при соблюдении условий хранения и использования; не совместим с окислителями, щелочами, кислотами; при повышенной температуре и при переработке обладает запахом альфа-метилстирола

## 1.2.2 Каучук синтетический БСК-1502

Каучук синтетический БСК-1502 должен выпускаться согласно технологического регламента УСП СБСК и соответствовать требованиям ТУ 2294-023-48158319-2010 с изм. № 4, 5.

«Каучук синтетический БСК-1502 (таблица 2) производится путем совместной полимеризацией бутадиена с альфа-метилстиролом при температуре (4-8) °С с использованием в качестве эмульгатора смеси мыл диспропорционированной канифоли и синтетических жирных кислот либо комплексных эмульгаторов.

Для стабилизации каучука синтетического БСК-1502 используется неокрашивающий антиоксидант»[4].

Таблица 2 - Физико-химические свойства и константы каучука синтетического БСК-1502

Показатели	Характеристики
1. Внешний вид	Твердый материал от светло-желтого до желтого цвета без запаха
2. Плотность при 25 °С, г/см <sup>3</sup>	0,94
3. Растворимость	В воде не растворяется В ароматических растворителях растворяется
4. Температура воспламенения, °С	293
5. Температура самовоспламенения, °С	339
6. Реакционная способность	Окисление, деструкция
7. Другие показатели	Стабилен при соблюдении условий хранения и использования; не совместим с окислителями, щелочами, кислотами; при повышенной температуре и при переработке обладает запахом альфа-метилстирола

## 1.3 Сушка каучука

Еще 5 лет назад сушка каучука проходила на старых агрегатах с небольшими мощностями в многоходовых сушильных агрегатах. Теперь же она проходит на новых агрегатах, у которых мощность в два раза больше. Соответственно работа одного нового агрегата заменила работу старых двух, что уменьшило количество негативных факторов.

### 1.3.1 Сушка на старых агрегатах

Подготовленная к сушке влажная лента синтетического каучука (далее по тексту «лента») с лентоотливочной машины (ЛОМ) по промежуточному транспортирующему устройству подаётся на 1-ый транспортирующий механизм 1-ой зоны сушильных агрегатов. Транспортирующие механизмы сушильного агрегата вертятся навстречу друг другу и сделаны таким образом, что лента свободно перемещается с одного транспортирующего механизма на следующий. Проходя друг за другом 17 транспортирующих механизмов через 3-и зоны сушильного агрегата, лента обдувается горячим воздухом, который подаётся осевыми циркуляционными вентилярующими устройствами (ЦВ) через калориферы из нагревающих камер сушильного агрегата. Воздух для удаления влаги из ленты берётся из помещения цеха вентилярующими устройствами 3-ей зоны через нижние боковые окна зоны №4. Обдувая ленту с обеих сторон, воздух охлаждает ее на транспортирующих механизмах 4-ой зоны и поступает через задние дверки со стеклянными проёмами в нагревающие камеры вентилярующих устройств 3-ей зоны сушильного агрегата. Вентилярующими устройствами 3-ей зоны воздух направляется на калориферы, нагревается и подается в камеру сушки 3-ей зоны где, высушивает ленту обдувая ее с обеих сторон. Часть воздуха вдоль задних дверок берётся боковыми вентилярующими устройствами и направляется на калориферы 2-ой зоны, а другая часть проходит круговорот в 3-ей зоне. Воздух из 3-ей зоны подаётся в нагревающие камеры боковых вентилярующих устройств 2-ой зоны, поступает на калориферы, где нагревается до более высокой температуры и через рассекатели подаётся на ленту, перемещающуюся по транспортёрным устройствам. С встречной стороны абсолютно также движется другой поток воздуха. Средними вентилярующими устройствами воздух берётся из камеры сушильного агрегата и проходит круговорот во 2-ой зоне. Часть воздуха боковыми вентилярующими устройствами тоже проходит круговорот во 2-ой зоне, а другая часть подаётся в 1-ую зону сушильного агрегата, где боковыми

вентилирующими устройствами подаётся на калориферы 1-ой зоны для нагрева и подачи на ленту. Движение воздуха в 1-ой зоне сушильного агрегата аналогично движению воздуха во 2-ой зоне. При движении горячего воздуха между транспортирующими устройствами во всех зонах сушильных агрегатов происходит сушка ленты. На более влажную ленту подается воздух более высоких температур. Высушенная лента подаётся в 4-ую зону для охлаждения, где на транспортирующих механизмах охлаждается холодным воздухом. Лента после сушки и охлаждения поступает на дальнейшую обработку (дробление, брикетирование, упаковка). Для аварийного останова транспортирующих механизмов сушильных агрегатов, на их входе и выходе по периметру натянут металлический трос, соединенный с аварийным выключателем. При натяжении троса происходит автоматическая остановка транспортирующих механизмов всех 4-ех зон сушильных агрегатов. Все сушильные агрегаты оборудованы индивидуальной автоматической системой пожаротушения. Смазка цепей транспортирующих механизмов сушильных агрегатов производится перед пуском сушильного агрегата в работу и один раз в сутки маслом И-40А (И-50А), которое завозится в бочках. Перед пуском сушильного агрегата в работу и во время работы производится побелка штанг транспортирующих механизмов водной суспензией мела.

Выброс увлажненного воздуха содержащего влагу и углеводороды из сушильных агрегатов производится боковыми вентилярующими устройствами 1-ой зоны через отверстия, расположенные в верхней части камер нагнетания. Далее отработанный воздух из сушильных агрегатов вентилярующими устройствами через отстойник влажной смолы вентилярующим устройством подается в печи сжигания установки Д-6. Пар подаётся в калориферы всех 3-х зон сушильных агрегатов и производится двумя потоками (на входе и выходе сушильного агрегата). Температура воздуха по зонам сушильного агрегата выдерживается автоматически регуляторами на входе и на выходе, регулирующие клапаны установлены на линиях пара в каждую из трех (1,2,3) зон сушильного агрегата, показания

выведены на приборы. Регистрация и регулирование технологических параметров сушильных агрегатов осуществляется блоком аварийной защиты и сигнализации «БАЗИС» в операторной. На линии пара в калориферы сушильных агрегатов установлен вихревой расходомер Prowirl 72 F, которым регистрируется расход пара.

Конденсат из калориферов каждой зоны сушильных агрегатов отводится через конденсатоотводчики в общий коллектор, а затем подается в теплообменник или химически загрязненную канализацию (ХЗК). Конденсат из коллектора паротушения сливается в общий коллектор конденсата. Для предотвращения завышения давления в линии конденсата установлен ППК ( $P_{откр} = 9,5 \text{ кгс/см}^2$ ). Пароконденсатная смесь после ППК поступает в емкость для сбора конденсата.

### **1.3.2 Сушка на новых агрегатах**

Крошка каучука (далее по тексту «крошка») подается в приемный бункер сушильного агрегата воздуходувкой, где установлено специальное устройство, которое равномерно распределяет крошку по всей ширине 1-ого верхнего яруса. Крошка, минуя две температурные зоны, с 1-ого верхнего яруса поступает на 2-ой нижний ярус. На выходе с 1-го верхнего яруса крошка рыхлится и дробится специальными разрыхляющими и разрывными устройствами. Крошка, которая прилипла к перфорированным пластинам конвейеров снимается скребковым механизмом. Нижний конвейер транспортирует крошку к центральному выходному отверстию, через 3-и температурные зоны, нагревая ее и зону охлаждения. Сушка крошки в сушильном агрегате происходит за счет циркуляции нагретого воздуха с постоянным притоком свежего. Циркулирующими устройствами нижнего ряда воздух, находящийся над верхней «веткой» конвейера через калориферы нижнего ряда подается в камеру, где распределяется и подается под верхнюю (рабочую) «ветку» конвейера, где смешиваясь со свежим воздухом, он поднимается вверх, проходит через крошку, высушивает ее и снова

поступает на повторный цикл. Часть нагретого воздуха из 3-ей и 4-ой зоны нижнего ряда по переходному воздуховоду поступает во 2-ую и 1-ую зону верхнего ряда, где перемешивается с циркулирующим воздухом верхнего ряда. Циркулирующими устройствами 1-ой и 2-ой зон через калориферы верхнего ряда происходит циркуляция нагретого воздуха в 1-ой и 2-ой зонах сушильного агрегата. Из 5-ой зоны сушильного агрегата крошка подается в зону охлаждения, где происходит ее обдув холодным воздухом, который берется из цеха последним по ходу циркулирующим устройством. Удаление наибольшей части влаги из крошки происходит в первой зоне сушильного агрегата. В 5-ой зоне сушильного агрегата происходит досушивание крошки (капиллярная сушка). Последняя зона очень ответственна, ведь крошка практически высохла и легко может перейти в пластикат, если допустить завышение температуры или увеличить время пребывания крошки в сушильном агрегате. В сушильном агрегате при режимной температуре крошка находится не более 1,0 ч. Общий расход пара в калориферы сушильного агрегата регистрируется прибором. Температурный режим во всех зонах сушильного агрегата выдерживается регуляторами, клапаны которых стоят на линиях пара в калориферы соответствующих зон сушильного агрегата. Давление пара, который подается в калориферы сушильного агрегата, выдерживается автоматически регулятором, клапан которого стоит на линии пара в калориферы сушильного агрегата. При завышении давления в линии пара после регулирующего клапана больше 6,0 кгс/см<sup>2</sup> срабатывает ППК, сброс пара после ППК производится в атмосферу. Конденсат из калориферов сушильного агрегата через конденсатоотводчики подается в теплообменник для нагрева умягченной воды или в емкость для сбора конденсата. Насыщенный влагой воздух из 1-ой, 2-ой и 5-ой зон сушильного агрегата вытяжными вентилярующими устройствами подается в собирающий коллектор сушильного агрегата и через отстойник влажной смолы вентилярующим устройством направляется в установку Д-6. Чтобы предотвратить прилипание крошки к перфорированным пластинам ярусов,

их непрерывно опудривают тонким слоем талька путем осаждения его в осадительной камере. Транспортировка талька производится воздухом, который подается в бачки Е-2. Сушильные агрегаты оборудованы системой автоматического пожаротушения. При завышении температуры воздуха в любой его зоне или после любого вытяжного вентилятора  $\geq 140$  °С по шкале прибора выдаются звуковой и световой сигналы в операторной. При завышении температуры в одной из вышеуказанных точек  $\geq 180$  °С по шкале прибора выдаются звуковой и световой сигналы в операторной, срабатывает блокировка:

- автоматически останавливаются все электродвигатели сушильного агрегата (конвейеров, вентилирующих устройств, приводных и натяжных станций);
- автоматически открывается электрозадвижка на линии пара на паротушение,
- автоматически закрывается дроссельная заслонка на коллекторе отработанных газов из сушильного агрегата,
- автоматически останавливаются электродвигатели отжимной машины, молотковой дробилки, воздуходувки.

Предусмотрена возможность открытия электрозадвижки вручную (кнопка «Пуск» установлена около каждой электрозадвижки). Предусмотрено дистанционное управление системой пожаротушения из операторной или по месту аварийным переключателем. Давление пара в линии паротушения регистрируется прибором. При снижении давления пара на паротушение сушильного агрегата больше  $7,0$  кгс/см<sup>2</sup> по шкале прибора выдаются звуковой и световой сигналы в операторной. Индикация, регистрация, регулирование и ПАЗ технологических параметров осуществляются АСУТП.

## **1.4 Факторы сопровождающие процесс сушки**

### **1.4.1 Конденсат**

«Конденсат – это продукт конденсации парообразного состояния жидкостей, т.е. продукт перехода вещества при охлаждении из газообразной в жидкую форму. Иными словами, конденсат – это жидкость, которая образуется при конденсации пара или газа»[35].

Конденсат из сушильных агрегатов, системы их паротушения и пароконденсационная смесь после ППК, установленного на линии конденсата из сушильных агрегатов поступают в емкость № 75 (для сбора конденсата). Уровень в емкости № 75 выдерживается автоматически в пределах 20÷80%, регистрируется прибором. Из емкости № 75 паровой конденсат насосом откачивается в конденсатопровод. Расход конденсата в емкость № 75 регистрируется прибором, выдерживается с коррекцией по уровню в емкости № 75 регулятором, клапан которого стоит на линии конденсата от насоса в конденсатопровод. Температура конденсата в конденсатопровод регистрируется прибором. Электродвигатели насосов управляются частотными преобразователями, обеспечивающими плавный пуск насосов и автоматическое выдерживание заданного давления в линии нагнетания. Давление в нагнетательной линии насосов регулируется с пульта управления регулятором «Метакон». Для предотвращения попадания кислорода воздуха в конденсат, емкость №75 соединена с атмосферой через гидрозатворы, которые заполнены конденсатом. При переполнении емкости № 75 конденсат через гидрозатворы и переливную линию сливается в ХЗК. В случае получения неудовлетворительного результата анализа парового конденсата, он автоматически превращается в отход, производится слив его в ХЗК и попадание в химические стоки, до выяснения и устранения причин несоответствий.

Подача конденсата в конденсатопровод возобновляется после устранения причин несоответствий и получения удовлетворительного результата анализа. При пуске емкости № 75 после ремонта или длительного

простая паровой конденсат сливается в ХЗК до получения удовлетворительного результата анализа. При получении хороших анализов, конденсат по конденсатопроводу подается на установку Д-6, где используется для получения водяного пара  $13 \text{ кгс/см}^2$  в технологических печах.

Таблица 3 - Аналитический контроль конденсата

№ п/п	Наименование стадий процесса, анализируемый продукт	Место отбора пробы (место установки анализатора)	Контролируемые показатели	Методы контроля (методика анализа, ГОСТ или ТУ)	Норма	Частота контроля	Кто контролирует
-1-	-2-	-3-	-4-	-5-	-6-	-7-	-8-
1.	Возвратный паровой конденсат	Из нагнет-ой линии насоса	Жесткость общая, мкгэкв/дм <sup>3</sup> , не более	Трилонометрический (методика № 102)	5,0	2 раза в сутки	Лаборатория изопрена, СКИ
			Перманганатная окисляемость, мгО <sub>2</sub> /л, не более	Перманганатометрический (методика № 92)	0,5	-//-	-//-
			Показатель рН	Потенциометрический (методика № 108)	8,5 - 9,5	-//-	-//-
			Содержание соединений железа, мкг/дм <sup>3</sup> , не более	Фотоколориметрический (методика № 104)	70	по требованию	-//-
			Содержание кремниевой кислоты, мкг/дм <sup>3</sup> , не более	Фотоколориметрический (методика № 106)	120	-//-	-//-
			Содержание нефтепродуктов, мг/дм <sup>3</sup> , не более	Гравиметрический (методика №467)	0,3	-//-	-//-

#### **1.4.2 Химические стоки**

Натр едкий технический (далее по тексту раствор натровой щелочи) периодически принимается в емкость из отделения Е-4 установки Е-1. После приема раствора натровой щелочи, линия продувается технологическим воздухом из установки Е-2 в отделение Е-4 установки Е-1. Уровень в емкости в пределах от 20% до 80%, регистрируется прибором и мерной линейкой (поплачковым уровнемером) по месту. При уровнях в емкости меньше 20% и больше 80% по шкале прибора выдаются световой и звуковой сигналы в операторной. Сработка раствора натровой щелочи из емкостей производится поочередно. Нейтрализация кислых стоков производится раствором натровой щелочи, самотеком поступающей из емкости на всас насоса. Показатель рН кислых стоков в пределах от 6,5 до 8,5 ед. выдерживается автоматически регулятором, клапан которого стоит на линии раствора натровой щелочи из емкости. После нейтрализации химические стоки подаются насосом по надземному коллектору в насосную № 54а (№ 130) ТТЦ или самотеком поступают в ХЗК (колодец № 6а). При останове насоса № 150/1,2 производится световой и звуковой сигнал по месту. Электродвигатели насосов управляются частотными преобразователями, обеспечивающими плавный пуск насосов и автоматическое выдерживание заданного давления в линии нагнетания. Давление в нагнетательной линии насосов регулируется с пульта управления регулятором «Метакон». В коллектор химических стоков от насоса технологической схемой имеется возможность подачи азота. Газовая фаза по линии воздушки из емкостей поступает в сборник для улавливания капель уносимого раствора щелочи. Раствор щелочи из сборника самотеком сливается в линию раствора щелочи из емкости. В случае забивки линии раствора щелочи из емкости технологической схемой имеется возможность подачи горячей умягченной воды из теплообменников в линию раствора щелочи для ее промывки.

Таблица 4 - Химические стоки УСП СБСК

Наименование сбрасываемых сточных вод	Место сбрасывания	Кол-во стоков, м <sup>3</sup> /час	Период-сть сброса	Характеристика выброса			Примечание
				Содержание контролируемых вредных в - в в сбросах (по компонентам)	ПДК в и ПДК рыбного хозяйства сбрасываемых вредных веществ	Допустимое количество сбрасываемых вредных веществ, кг/час	
1	2	3	4	5	6	7	8
1. Сточные воды из отделения Е-2, в том числе:	Насосом № 150 в насосную № 130 или 54а или в колодец № 6а ХЗК	190	Постоянно	рН ХПК, мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup> , не более Взвешенные вещества, мг/дм <sup>3</sup> , не более Хлориды	6,5 - 8,5 1200  300 не норм.		Температура стоков, сбрасываемых в ХЗК не более 45 <sup>0</sup> С (охлаждаются в холодильнике или разбавлением)
- Промывная вода от 2,3 частей ЛОМ № 13 (после промывки ленты каучука)	То же	59	Постоянно	рН ХПК, мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup> , не более Взвешенные вещества, мг/дм <sup>3</sup> , не более Хлориды	6,5 - 8,5 1200  300 не норм.		
- Избыток серума из емкости № 88/1	-//-	56	Постоянно	рН ХПК, мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup> , не более Взвешенные вещества, мг/дм <sup>3</sup> , не более Хлориды	6,5 - 8,5 1200  300 не норм.		
- Обратная вода из переливного кармана емкости № 88/1	-//-	8	Постоянно	рН ХПК, мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup> , не более Взвешенные вещества, мг/дм <sup>3</sup> , не более Хлориды	6,5 - 8,5 1200  300 не норм.		

Продолжение Таблицы 4

1	2	3	4	5	6	7	8
- Избыток серума из емкости Е-1	Насосом № 150 в насосную № 130 или 54а или в колодец № 6а ХЗК	23	Постоянно	рН ХПК, мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup> , не более Взвешенные вещества, мг/дм <sup>3</sup> , не более Хлориды	6,5 - 8,5 1200 300 не норм.		
- Отжимная вода из гидрозатвора ПН-1	То же	4	Постоянно	рН ХПК, мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup> , не более Взвешенные вещества, мг/дм <sup>3</sup> , не более Хлориды	6,5 - 8,5 1200 300 не норм.		
- Обратная оборотная вода из теплообменника охлаждения масла отжимной машины М-1/1,2	-//-	5	Постоянно	рН ХПК, мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup> , не более Взвешенные вещества, мг/дм <sup>3</sup> , не более Хлориды	6,5 - 8,5 1200 300 не норм.		
- Обратная оборотная вода из теплообменника охлаждения масла маслостанции А-6	-//-	5	Постоянно	рН ХПК, мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup> , не более Взвешенные вещества, мг/дм <sup>3</sup> , не более Хлориды	6,5 - 8,5 1200 300 не норм.		
- Вода от сальников насосов № 2, № 58, № 58а, 125, Н-1	-//-	3,75	Постоянно	рН ХПК, мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup> , не более Взвешенные вещества, мг/дм <sup>3</sup> , не более Хлориды	6,5 - 8,5 1200 300 не норм.		

Продолжение Таблицы 4

1	2	3	4	5	6	7	8
- Раствор натровой щелочи на нейтрализацию стоков	-//-	0,25	Постоянно	pH ХПК, мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup> , не более, Взвешенные вещества, мг/дм <sup>3</sup> , не более Хлориды	6,5 - 8,5 1200 300 не норм.		
- Промывная вода из влагосмолоотстойника № 23	В колодец № 4 ХЗК	15	Постоянно	pH ХПК, мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup> , не более Взвешенные вещества, мг/дм <sup>3</sup> , не более Хлориды	6,5 - 8,5 1200 300 не норм.		
- Промывная вода от вакуум насосов № 97/7÷10	В колодец № 5 ХЗК	10	Постоянно	pH ХПК, мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup> , не более Взвешенные вещества, мг/дм <sup>3</sup> , не более Хлориды	6,5 - 8,5 1200 300 не норм.		
2. Сточные воды из отделения Е-12, в том числе:	Колодец № 3 ХЗК	3	Постоянно	pH ХПК, мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup> , не более Взвешенные вещества, мг/дм <sup>3</sup> , не более Хлориды Аммоний-ион, мг/дм <sup>3</sup> , не более	6,5 - 8,5 1200 300 не норм. 75,0		
- Вода от сальников насосов № 2,3	То же	3	Постоянно	pH ХПК, мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup> , не более Взвешенные вещества, мг/дм <sup>3</sup> , не более Хлориды Аммоний-ион, мг/дм <sup>3</sup> , не более	6,5 - 8,5 1200 300 не норм. 75,0		

Принципиальная схема формирования стоков по установке E-2

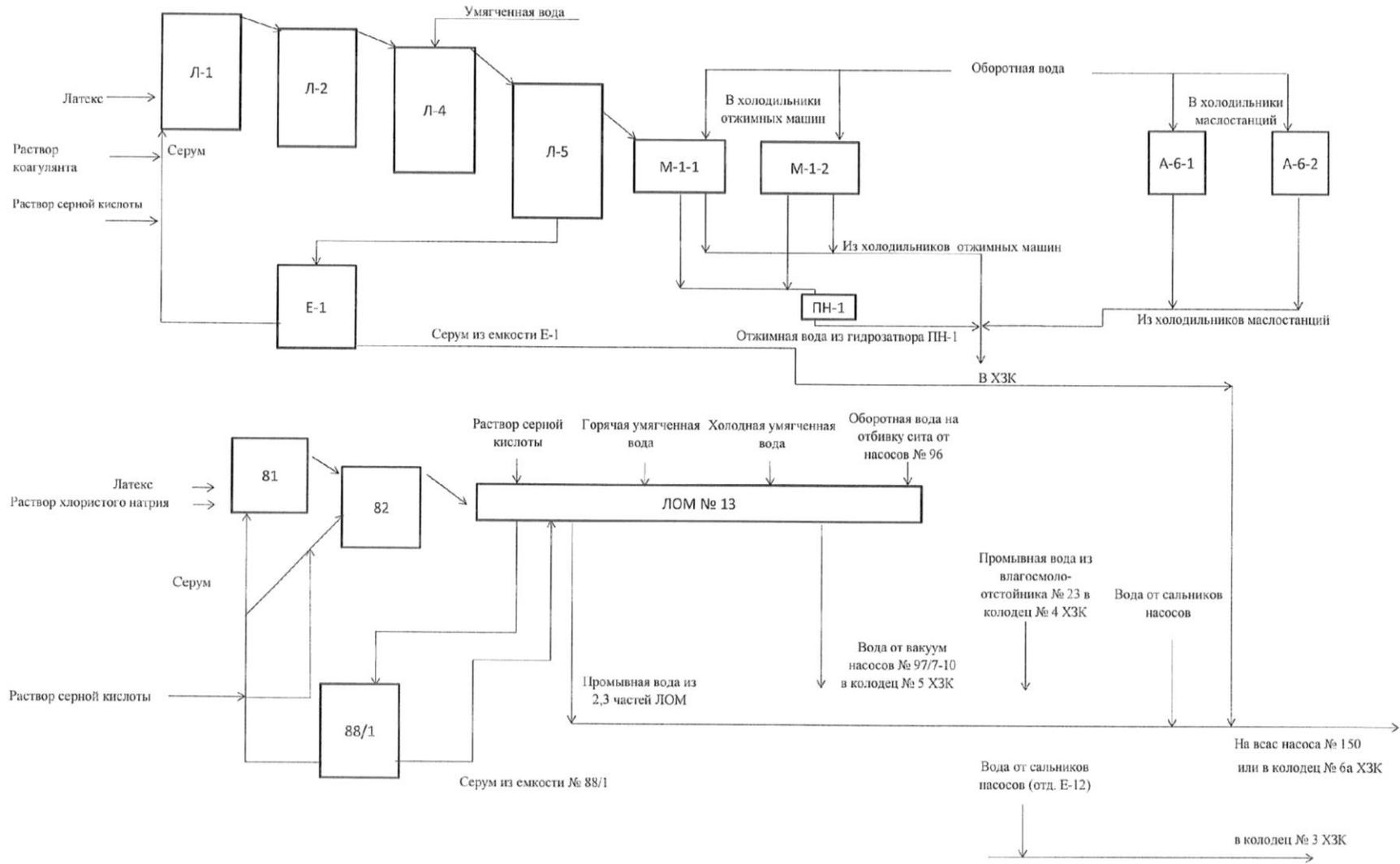


Рисунок 1 – схема формирования стоков

## **Очистка сточных вод**

После нейтрализации химические стоки с УСП СБСК подаются насосом по надземному коллектору в насосную № 54а (№ 130) ТТЦ, где смешиваются со стоками других производств и насосом подаются на очистку.

«Очистка сточных вод – это очищение сточных вод с целью удаления либо разрушения в них вредных веществ. Избавление сточных вод от загрязнения очень сложное производство. В данном производстве, как и в любом другом есть сырье (сточные воды) и готовая продукция (очищенная вода). Главные методы, используемые для очищения сточных вод подразделяются на: механические, физико-химические, биологические и доочистку.

Механическую очистку используют в основном как предварительную. Она гарантирует удаление взвешенных частиц из бытовых сточных вод на 60-65%, а из некоторых производственных сточных вод на 90-95%. Задачи данной очистки заключаются в подготовке очищаемой воды к физико-химической и биологической очисткам. Механическая очистка сточных вод – это самый дешевый метод очистки, поэтому всегда целесообразно более глубокое очищение сточных вод другими методами.

Физико-химическая очистка заключается в том, что в воды, которые очищают, добавляют какое-либо вещество-реагент (коагулянт или флокулянт). Вступая в химическую реакцию с находящимися в воде примесями, данное вещество способствует наиболее полному выделению нерастворимых примесей, коллоидов и части растворимых соединений»[23].

«При этом уменьшается концентрация вредных веществ в сточных водах, растворимые соединения становятся нерастворимыми или растворимыми, но безвредными, реакция сточных вод становится другой (происходит их нейтрализация). Физико-химическая очистка резко интенсифицирует механическую очистку сточных вод. В зависимости от

нужной степени очищения, физико-химическая очистка может быть последней или 2-ой ступенькой очистки перед биологической.

Биологическая очистка основана на жизнедеятельности микроорганизмов, которые окисляют или восстанавливают органические вещества, которые находятся в очищаемых водах в виде тонких суспензий, коллоидов, в растворе и являются для микроорганизмов их питанием, в результате этого и производится очистка сточных вод от загрязнения»[35].

### **Описание технологической схемы механо-биологической очистки сточных вод**

«Химически загрязненные, промышленные и хозяйственно-бытовые сточные воды предприятия, по трубопроводам поступают в приемные камеры БОС. Из приемных камер химически загрязненные сточные воды по самотечным железобетонным лоткам поступают в полимерловушку. После полимерловушки сточные воды по самотечным железобетонным лоткам поступают на усреднители, а с них на горизонтальный отстойник. В полимерловушке крошка каучука задерживается в трех секциях и накапливается на водной поверхности»[39]. «В усреднителях сточные воды усредняются по составу загрязнений и pH. Усреднение достигается путем перемешивания сточных вод через перфорированную систему аэрации сжатым воздухом от воздуходувной станции цеха, в которой установлены нагнетатели типа 670-24-1 производительностью 670 м<sup>3</sup>/мин. И нагнетатель типа 360-22-1 производительностью 360 м<sup>3</sup>/мин. Подача воздуха на аэрацию регулируется задвижками. В отстойниках сточные воды отстаиваются: взвешенные вещества и шлам оседает на дно, а осветленные сточные воды после отстойников смешиваются в железобетонном лотке с осветленными хозяйственно-бытовыми сточными водами перед поступлением в аэраторы»[12].

«Хозяйственно-бытовые сточные воды из приемных камер по самотечным железобетонным лоткам поступают на механические грабли, откуда сточные воды по самотечным железобетонным лоткам идут на

песколовки. На вертикальных решетках механических граблей задерживаются грубые взвешенные вещества. В песколовках происходит оседание песка из сточных вод диаметром частиц 0,25 мм и более. Скорость потока в песколовках составляет от 0,15 до 0,3 м/сек, а продолжительность протока от 0,5 до 1 мин. Пройдя песколовки очищаемые воды по самотечным железобетонным лоткам через распределительные камеры направляются в первичные радиальные отстойники, в которых взвешенные вещества в виде сырого осадка выпадают на дно отстойника, а осветленные сточные воды смешиваются в самотечном железобетонном лотке с осветленными химически загрязненными сточными водами перед поступлением в аэраторы. В отстойниках задерживается до 60% взвешенных веществ. Влажность сырого осадка составляет 93-95%»[39].

«Смешанные сточные воды по железобетонным самотечным лоткам далее поступают на биологическую очистку в аэраторы, где происходит полное смешение химически загрязненных сточных вод с хозяйственно-бытовыми, процесс флокуляции и коагуляции мельчайших частиц нерастворимых примесей, насыщение стоков кислородом. Из аэраторов сточные воды распределяются через распределительные камеры на аэротенки. В аэротенках происходит потребление субстрата (загрязнений) аэробными микроорганизмами (активный ил) из сточной воды в качестве их питания. Время пребывания очищаемых вод в аэротенке составляет 17-19 часов. Аэрация вод в аэротенках производится аэраторами, обеспечивающими мелкопузырчатое диспергирование воздуха в жидкости воздухом от воздухонагнетателей воздуходувной станции цеха. Смесь из сточной воды и активного ила, подается из аэротенков на радиальные вторичные отстойники через распределительные камеры. Во вторичных отстойниках происходит разделение биологически очищенных сточных вод и активного ила. Активный ил оседает на дно отстойника и удаляется с помощью илососов в камеры насосной станции. Осветленные очищенные сточные воды после вторичных радиальных отстойников по трубопроводу

поступают в приемный резервуар биологически очищенных сточных вод блока доочистки. Активный ил из вторичных отстойников по трубопроводу выводится в камеры насосной станции, откуда насосами откачивается в первые секции аэротенков. Избыточный активный ил отводится с напорной линии насосов третьей насосной станции по трубопроводу в илоуплотнители, где он уплотняется в течение 12-18 часов и отводится самотеком по трубопроводу в камеру насосной станции, откуда насосами откачивается или на иловые площадки, или на механическое обезвреживание на узел подготовки осадка»[35].

«Норм химических стоков на входе в очистные не существует, т.к у каждого производства есть нормы на выходе от них, которые контролируются лабораторным анализом ежедневно.

Очищенная вода не должна содержать:

- всплывающих и взвешенных веществ в количестве более 224.8 мг/л;
- веществ, которые способны засорять трубы канализационной сети или отлагаться на стенках труб;
- веществ, которые оказывают разрушающее действие на материал труб и элементы сооружений канализации;
- растворенных газообразных веществ и горючих примесей, которые способны образовывать взрывоопасные смеси в канализационных сетях и сооружениях;
- концентрированных вредных веществ, которые препятствуют биологической очистке сточных вод или сбросу их в водоем (с учетом эффекта очистки).
- температура данных вод не должна быть более 30°C. Нельзя допускать залповые сбросы очень концентрированных сточных вод»[31].

#### **Утилизация отходов с очистных сооружений**

Из полимерловушки механически автогрейфером, полимер загружают в автосамосвал и вывозят на полигон для размещения осадков с очистных сооружений ООО «СИБУР Тольятти». Песок из песколовков гидроэлеватором

убирается в бункер песка, откуда его выгружают в автосамосвал и также вывозят на полигон для размещения осадков с очистных сооружений ООО «СИБУР Тольятти».



Рисунок 2 - Автосамосвал для вывоза отходов на полигон

«С горизонтального отстойника, шлам самотеком по трубопроводу подается в камеру шлама насосной станции, а оттуда насосами откачивается на иловые площадки. Твердые бытовые отходы с грабельных решеток подаются в бункер-накопитель, а оттуда их отправляют на место хранения ТБО. На иловых площадках смесь сырого осадка, шлама и уплотненного избыточного активного ила обезвоживается за счет дренажной системы, а с поверхности площадок высушивается. Дренажные воды от иловых площадок по самотечному трубопроводу подаются в камеру активного ила иловой насосной станции»[6]. С иловых площадок высушенный и обезвоженный ил отвозят на полигон для размещения осадков с очистных сооружений ООО «СИБУР Тольятти».

### **1.4.3 Отработанный воздух (газы)**

Отработанный воздух из сушильных агрегатов, содержащий в небольших количествах мономеры (бутадиен,  $\alpha$ -метилстирол, стирол), продукты разложения каучука, смоляные и жирные кислоты, влагу,

вентиляторами по коллектору подается во влагосмолоотстойник, орошаемый оборотной водой. Данный процесс рассматривается подробно в данной работе далее.

### 1.5 Материальный баланс «УСП СБСК»

Материальные потоки баланса:

$G_1$ –латекс,

$G_2$ –эмульгатор,

$G_3$ –масло ПН-6к,

$G_4$ –реагент «ЭПАМ»,

$G_5$ –серум,

$G_6$ –раствор  $H_2SO_4$ ,

$G_7$ –вода,

$G_8$ –скоагулированный полимер.

Уравнение материального баланса:

$$G_1+G_2+G_3+G_4+G_5+G_6=G_7+G_8.$$

Основные данные к материальному балансу «УСП СБСК»,  $N=55000$  т/г каучука СКМС-30 АРКМ-15 и БСК-1502:

Таблица 5 - Состав смеси поступающей в аппарат, % масс

Компоненты	% масс.
Латекс	4,5
Масло ПН-6к	0,85
Эмульгатор	0,1
Вода	23
Эпам	0,6
Раствор $H_2SO_4$	0,03
Серум	70,8

Произведем расчет годовой производственной мощности, т/ч. Примем, что календарная продолжительность года 365 дней. Простой оборудования по графику планового производственного ремонта 15 суток. Отсюда эффективное время работы оборудования, суток:

$$365-15=350 \text{ (дней).}$$

Эффективное время работы оборудования, час:

$$350 \cdot 24 = 8400 \text{ (часов).}$$

Определение часовой производительности оборудования:

$$55000 / 24 \cdot 350 = 6,55 \text{ (т/ч) крошки;}$$

$$6,55 \cdot 1000 / 3600 = 1,819 \text{ (кг/с) крошки.}$$

1. Определим количество компонентов, идущих на процесс коагуляции, кг/с:

$$G = \Pi \cdot \% \text{масс} / 100, \quad (1)$$

где  $\Pi$  – производительность агрегата, (кг/с).

Латекс:

$$G_1 = 1,819 \cdot 4,5 / 100 = 0,0819 \text{ (кг/с).}$$

Эмульгатор:

$$G_2 = 1,819 \cdot 0,1 / 100 = 0,002 \text{ (кг/с).}$$

Масло ПН-6к:

$$G_3 = 1,819 \cdot 0,85 / 100 = 0,015 \text{ (кг/с).}$$

Эпам:

$$G_4 = 1,819 \cdot 0,6 / 100 = 0,011 \text{ (кг/с).}$$

Серум:

$$G_5 = 1,819 \cdot 70,8 / 100 = 1,288 \text{ (кг/с).}$$

Раствор  $H_2SO_4$ :

$$G_6 = 1,819 \cdot 0,03 / 100 = 0,0005 \text{ (кг/с).}$$

Вода:

$$G_7 = 1,819 \cdot 23 / 100 = 0,42 \text{ (кг/с).}$$

2. Определим количество компонентов, идущих на процесс коагуляции, кмоль/с:

$$\text{кмоль/с} = (\text{кг/с}) / M, \quad (2)$$

где  $M$  – молекулярная масса компонентов, г/моль.

Латекс:

$$0,082 / 300000 = 2,73333333E-7 \text{ (кмоль/с).}$$

Эмульгатор:

$$0,002/1200=0,0000017 \text{ (кмоль/с)}.$$

Масло ПН-6к:

$$0,015/6075=0,0000025 \text{ (кмоль/с)}.$$

Эпам:

$$0,011/77=0,00014 \text{ (кмоль/с)}.$$

Серум:

$$1,289/193=0,0067 \text{ (кмоль/с)}.$$

Раствор  $\text{H}_2\text{SO}_4$ :

$$0,0005/98=0,000005 \text{ (кмоль/с)}.$$

Вода:

$$0,42/18=0,023 \text{ (кмоль/с)}.$$

3. Определим мольный процент в компонентах, % мольн:

$$\% \text{ мольн.} = (\text{кмоль/с}) \cdot 100 / (\text{кмоль/с}_{\text{общ.}}), \quad (3)$$

где  $\text{кмоль/с}_{\text{общ.}} = 0,0298$ .

Латекс:

$$2,73333333\text{E-}7 \cdot 100 / 0,0298 = 0,0009 \text{ (\% мольн)}.$$

Эмульгатор:

$$0,0000017 \cdot 100 / 0,0298 = 0,006 \text{ (\% мольн)}.$$

Масло ПН-6к:

$$0,0000025 \cdot 100 / 0,0298 = 0,008 \text{ (\% мольн)}.$$

Эпам:

$$0,00014 \cdot 100 / 0,0298 = 0,47 \text{ (\% мольн)}.$$

Серум:

$$0,0067 \cdot 100 / 0,0298 = 22,48 \text{ (\% мольн)}.$$

Раствор  $\text{H}_2\text{SO}_4$ :

$$0,000005 \cdot 100 / 0,0298 = 0,17 \text{ (\% мольн)}.$$

Вода:

$$0,023 \cdot 100 / 0,0298 = 77,18 \text{ (\% мольн)}.$$

Сводим данные в таблицу.

Таблица 6 - Сводный материальный баланс

<b>Вход</b>					
Компоненты	% масс.	Мг/моль	кг/с	кмоль/с	% мольн.
Латекс	4,5	300000	0,082	2,733333333E-7	0,0009
Масло ПН-6к	0,85	6075	0,015	0,0000025	0,008
Эмульгатор	0,1	1200	0,002	0,0000017	0,006
Вода	23	18	0,42	0,023	77,18
Эпам	0,6	77	0,011	0,00014	0,47
Р - р H2SO4	0,03	98	0,0005	0,000005	0,017
Серум	70,8	193	1,289	0,0067	22,48
Итого	100	307661	1,819	0,0298	100

<b>Выход</b>					
Компоненты	% масс.	Мг/моль	кг/с	кмоль/с	% мольн.
Крошка каучука	20	307643	0,3638	0,0000012	0,0015
Вода	80	18	1,4552	0,0808444	99,9985
Итого	100	307661	1,819	0,0808456	100

Из данных установки крошки каучука выходит 20 % масс., а воды 80 % масс.

1. Определим сколько вышло крошки каучука и воды, кг/с:

$$\text{кг/с} = (\text{кг/с}_{\text{общ.}} \cdot \% \text{масс}) / 100. \quad (4)$$

Крошка:

$$(1,819 \cdot 20) / 100 = 0,3638 \text{ (кг/с)}.$$

Вода:

$$(1,819 \cdot 80) / 100 = 1,4552 \text{ (кг/с)}.$$

2. Определим сколько вышло крошки каучука и воды, кмоль/с:

$$\text{кмоль/с} = (\text{кг/с}) / M, \quad (5)$$

где M – молекулярная масса компонентов.

Крошка:

$$0,3638 / 307643 = 0,0000012 \text{ (кмоль/с)}.$$

Вода:

$$1,4552 / 18 = 0,0808444 \text{ (кмоль/с)}.$$

3. Определим сколько вышло крошки каучука и воды, % мольн:

$$\% \text{ мольн.} = (\text{кмоль/с} \cdot 100) / (\text{кмоль/с}_{\text{общ.}}). \quad (6)$$

Крошка:

$$(0,0000012 \cdot 100) / 0,0808456 = 0,0015 (\% \text{ мольн}).$$

Вода:

$$(0,0808444 \cdot 100) / 0,0808456 = 99,9985 (\% \text{ мольн}).$$

## Глава 2 Анализ существующей технологической схемы очистки и подачи отработанного воздуха на сжигание

### 2.1 Газоочистка с помощью скрубберов

«Газоочистное оборудование является неотъемлемым атрибутом любого химического предприятия, производства пищевой и лёгкой промышленности, металлургических, цементных заводов и т.д.»[30].

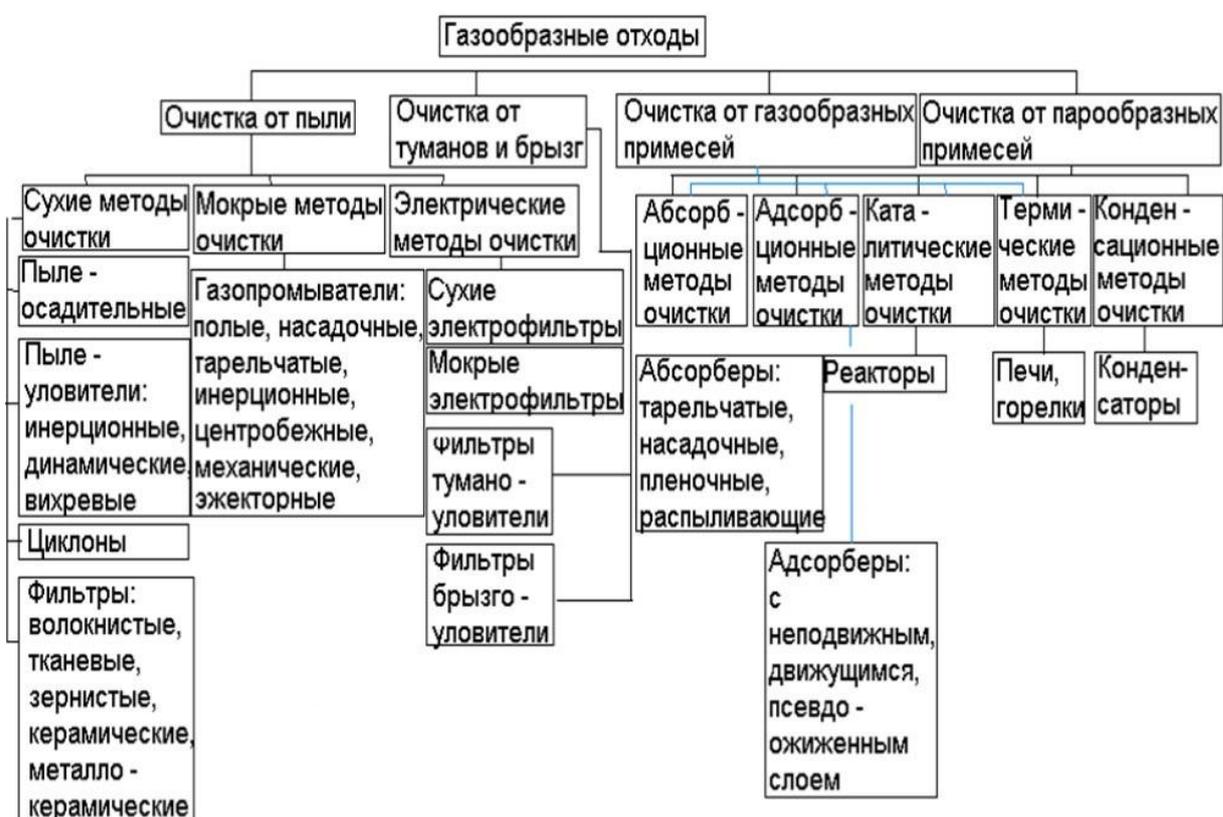


Рисунок 3 – Классификация аппаратов для очистки газообразных выбросов

«Газоочистку с помощью скрубберов от каких-либо примесей относят к мокрому способу очистки. Данный способ очистки основывается на промывании газа жидкостью (обычно водой) при максимальном контакте жидкости с частицами аэрозоля и возможно более сильном перемешивании газа, который очищают с жидкостью. Этот метод позволяет очистить газ от

частиц пыли, дыма, тумана и аэрозолей (обычно нежелательные или вредные) практически любых размеров.

Скрубберы - это аппараты, которые используют для очищения твердых или газообразных сред от примесей в различных химико-технологических процессах»[35].

«Мокрые пылеуловители (рисунок 4) имеют высокую эффективность очистки газов от мелкодисперсной пыли размером до 2 мкм. Работают по принципу осаждения частиц пыли на поверхность капель под действием сил инерции или броуновского движения.

Загрязненный поток газов по патрубку 1 поступает на зеркало жидкости 2, на котором происходит осаждение более крупных частиц пыли. Затем поток газа поднимается навстречу каплям жидкости, которые подаются через форсунки 3, где газ очищается от мелких частиц пыли»[5].

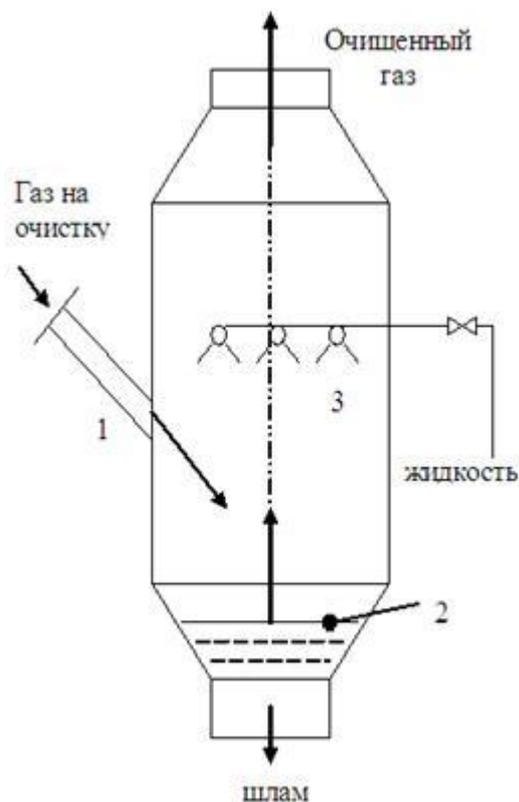
По применению выделяют два основных типа скрубберов:

- аппараты газоочистки, которые основаны на промывке газа жидкостью;
- барабанные машины, которые используют для промывки полезных ископаемых.

Самый главный недостаток этого способа очистки газа – это то, что образуется большое количество шлама. Действие устройств мокрой очистки газов основывается на захвате жидкостью уносящей из аппаратов частиц пыли в виде шлама. Процесс улавливания в мокрых пылеуловителях становится лучше из-за эффекта конденсации - увеличение частиц пыли за счёт конденсационного воздействия на них водяных паров.

«Выделяют следующие виды скрубберов:

- башни с насадкой (насадочные скрубберы);
- орошаемые циклоны (центробежные скрубберы);
- пенные аппараты;
- скрубберы Вентури»[5].



1 – патрубок, 2 – зеркало жидкости, 3 – форсунки.

Рисунок 4 – Схема работы скруббера

### 2.1.1 Классификация скрубберов

«Устройства очистки газа основаны на промывании газа жидкостью. Газ проходит промывку водой или другим рабочим раствором, при этом и происходит его очищение. Такой метод называют методом мокрой очистки. Этим методом газоочистки, можно очистить газ от частиц любого размера.

Метод мокрой газоочистки является механическим и чаще его применяют на заключительных этапах охлаждения. Устройства мокрой очистки применяют разные виды поверхностей при перемешивании жидкости и газа. Данный метод позволяет удалить все примеси из газа, за счет эффекта конденсации на них более тяжелых частиц пара. Скрубберы устанавливают на крупных предприятиях в очистных сооружениях»[24].

«Мокрые пылеуловители отличаются небольшой стоимостью (без учета шламового хозяйства) и очень высокой эффективностью улавливания частиц по сравнению с сухими механическими пылеуловителями:

возможность применения газоочистки для от частиц размером до 0,1 мкм, ну и использование их как абсорберов, для охлаждения и увлажнения (кондиционирования) газов в качестве теплообменников смешения.

Из недостатков пылеуловителей можно выделить: возможность забивания газоходов и оборудования пылью (при охлаждении газов) и потери жидкости вследствие брызгоуноса; необходимость антикоррозионной защиты оборудования при фильтрации агрессивных газов и смесей.

В мокрых пылеуловителях в качестве жидкости для орошения чаще всего применяют воду; при общем решении в вопросах пылеулавливания и химической газоочистки выбор жидкости для орошения (абсорбента), обуславливается процессом абсорбции»[3].

«Мокрые пылеуловители по затратам энергии делятся на: низконапорные, средненапорные и высоконапорные. К низконапорным устройствам относят пылеуловители, гидравлическое сопротивление которых не превышает 1500 Па. К ним относятся форсуночные скрубберы, барботеры, мокрые центробежные аппараты и др. В группу средненапорных мокрых пылеуловителей входят те, у которых гидравлическое сопротивление от 1500 до 3000 Па - это некоторые динамические скрубберы, газоочистители ударно-инерционного действия, эжекторные скрубберы. К высоконапорным газоочистителям с гидравлическим сопротивлением больше 3000 Па относят в основном скрубберы Вентури и дезинтеграторы»[6].

Классификация мокрых пылеуловителей в зависимости от поверхности контакта или по способу действия:

- башни с насадкой (насадочные скрубберы);
- орошаемые циклоны (центробежные скрубберы);
- пенные аппараты;
- скрубберы Вентури;
- полые скрубберы.

## Башни с насадкой (насадочные скрубберы)

«Данные устройства применяют только в том случае если улавливаемая пыль хорошо смачивается жидкостью. Больше всего это имеет отношение к таким случаям, как например если процесс очищения сопровождается абсорбцией или охлаждением газов. В этих скрубберах может быть поперечное, прямоточное или противоточное орошение.

Аппарат, который имеет поперечное сечение, требует на 40% меньше жидкости, чем противоточный. Также такое устройство имеет меньшее гидравлическое сопротивление»[41].

«Насадочные скрубберы это колонные аппараты с неподвижной насадкой в виде колец, шаров, седел или тел другой формы. В пылеулавливании в основном применяются противоточные насадочные скрубберы»[39].

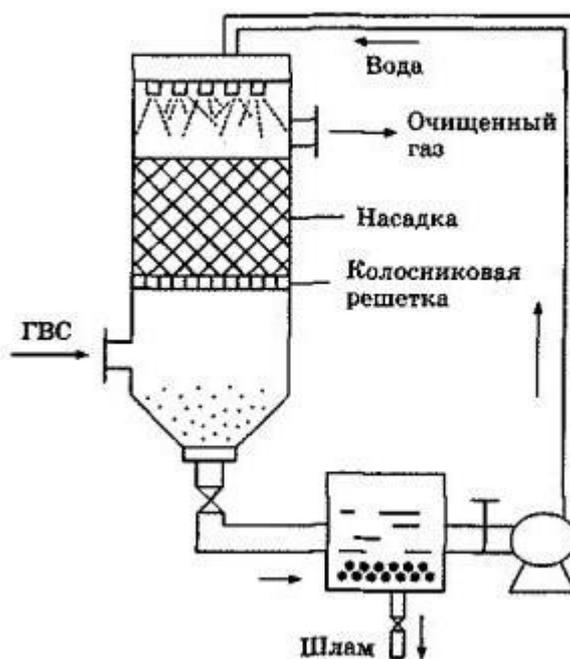


Рисунок 5 – Схема работы насадочного скруббера

«Предназначение насадки: увеличить поверхности контакта фаз. Жидкость стекает пленочкой по насадке, газ движется противотоком. Такие скрубберы используют при невысокой концентрации пыли, поскольку в противном случае насадки будут часто забиваться.

Также имеют применение насадочные аппараты с поперечным орошением. В этих устройствах чтобы поверхности насадки лучше смачивались, слой ее наклоняют на 7–10 градусов в направлении газового потока»[30].

### Пенные аппараты

«Это скрубберы, у которых корпус разделен решеткой с мелкими отверстиями, которые равномерно расположены. На этой решетке образуется слой водяной пены, когда через нее проходит запыленный газовый поток. Запыленный поток газа подается под решетку, а очищенный выводится из верхней области корпуса аппарата. Вода подается сверху на решетку. В зависимости от того, как сконструирован аппарат, вода с поверхности решетки выводится либо через отверстия на решетке, а частично через слив, либо только через отверстия. Диаметр отверстий в решетке составляет 3 - 8 мм. Пенные скрубберы используют для улавливания пыли, которая плохо смачивается и имеет концентрацию в очищаемом газе (воздухе) более 10 г/м<sup>3</sup>»[15].

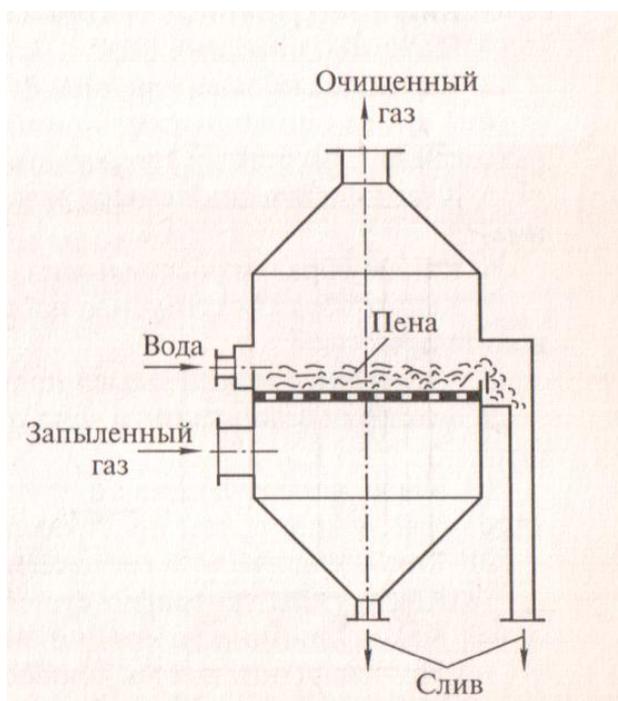


Рисунок 6 – Схема работы пенного аппарата

## Орошаемые циклоны (центробежные скрубберы)

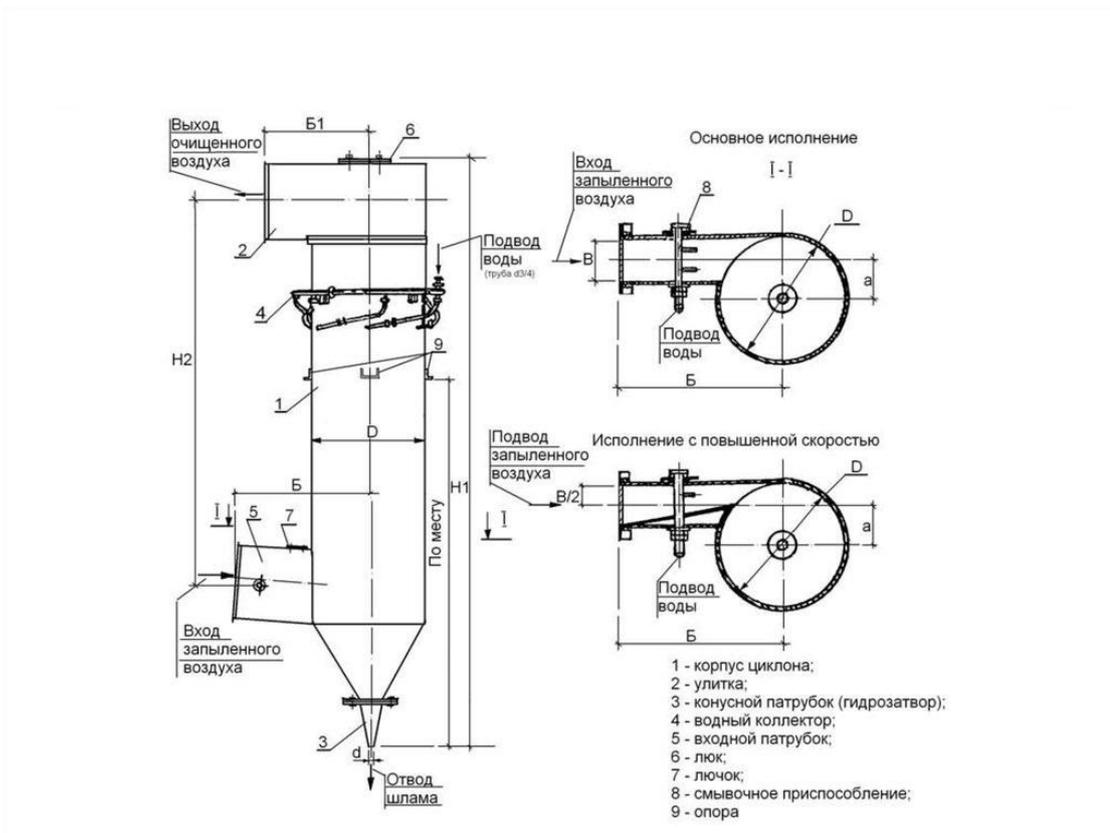


Рисунок 7 – Схема работы центробежного скруббера

«Поток загрязненного газа поступает в центробежный скруббер по касательной относительно стенок корпуса аппарата и начинает интенсивно вращаться. Под действием центробежных сил, частицы пыли отбрасываются к стенкам устройства и выводятся вместе с водой, стекающей по этим стенкам. Чтобы орошающая вода равномерно распределялась по стенкам, установлены сопла. Охлажденный и очищенный поток газа выходит через верхнее отверстие, регулирующееся дроссельной заслонкой. Отработанная вода выводится через гидравлический затвор»[29].

### Скрубберы Вентури

Скруббер Вентури состоит из трёх секций: сужающейся секции, небольшой горловины, и расширяющейся секции.

Поток загрязненного газа подается в сужающуюся секцию, и по мере того, как площадь поперечного сечения потока становится меньше, скорость газа увеличивается (уравнение Бернулли). В тот же момент, сбоку в сужающуюся секцию или горловину по патрубкам подается жидкость.

Так как газ двигается при очень большой скорости в небольшой горловине, там создается большая турбулентность потока газа. Эта турбулентность разбивает поток жидкости огромное количество очень мелких капель. Пыль, которая содержится в потоке газа, оседает на поверхности этих самых капель. Выходя из горловины газ, который смешан с облаком мелких капель жидкости, поступает в расширяющуюся секцию, там скорость газа становится меньше, соответственно турбулентность снижается и капли становятся более крупными. Выходя из аппарата капли жидкости с адсорбированными на них частицами отделяются от потока газа. Скрубберы Вентури могут применяться как для газоочистки от мелких частиц, так и для очистки от загрязнений в виде инородных газов.

Основным дефектом в эксплуатации этих аппаратов является абразивный износ стенок, который возникает от высоких скоростей потоков газа, которые в горловине могут достигать 430 км/ч. Твёрдые частицы или капли жидкости, при движении с такой скоростью и ударяясь об стенки, вызывают быструю эрозию стенок. Уменьшить износ стенок можно, если их изнутри покрыть карбидом кремния. Также для удобства можно сделать внутреннюю втулку из этого вещества сменной. Износ также происходит и в колене в нижней части аппарата. Для того чтобы уменьшить износ здесь, дно колена, которое ведет в разделитель, заполняют той же жидкостью, которую подают в верхнюю часть скруббера. Частицы и капли жидкости поступают в этот слой, и ударные нагрузки на стенки становятся меньше.

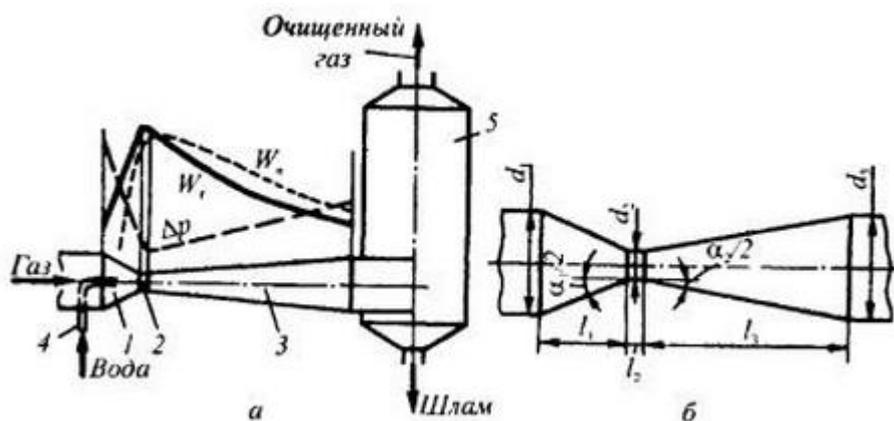


Рисунок 8 – Схема работы скруббера Вентури

### Полые скрубберы

«Эти аппараты представляют собой пустотелую цилиндрическую или прямоугольную башню, чаще всего металлическую, реже из кирпича или железобетонную. В верхней области устройства устанавливаются форсунки, которые перекрывают факелами разбрызгиваемой воды все поперечное сечение аппарата»[39].

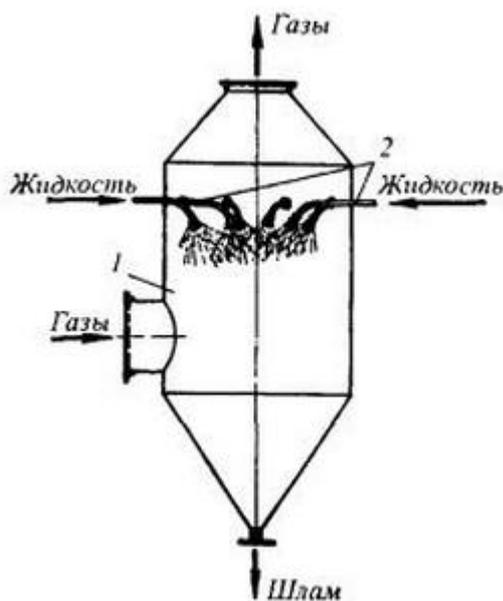


Рисунок 9 – Схема работы полого скруббера

«Поток газа поступает в аппарат через патрубок, который расположен в нижней области устройства, движется снизу вверх навстречу воде, которая разбрызгивается форсунками и очищает его. Очищенный газ выходит из скруббера через патрубок в верхней его области. Шламовая вода стекает в бункер, который расположен снизу, откуда через гидрозатвор выводится в шламовую канализацию»[31].

### 2.1.2 Достоинства и недостатки скрубберов

#### «Достоинства мокрых пылеуловителей:

- высокая эффективность улавливания взвешенных частиц;
- имеется возможность использовать для очистки газов от частиц крупнее 0,1 мкм;

- допустима очистка газов при повышенной температуре и высокой влажности, а также при опасности возгораний и взрывов очищенных газов и уловленной пыли;
- возможность вместе с пылью одновременно улавливать парообразные и газообразные компоненты.

#### **Недостатки мокрых пылеуловителей:**

- уловленная пыль выделяется в виде шлама, что приводит к необходимости очистки сточных вод, т.е. к удорожанию процесса;
- возможность уноса капель жидкости и осаждения их вместе с пылью в дымососах и газоходах;
- в случае очищения агрессивных газов появляется необходимость в защите аппаратуры и коммуникаций антикоррозионными материалами»[21].

## **2.2 Описание существующей технологической схемы очистки и подачи отработанного воздуха на сжигание**

Отработанный воздух из сушилок, содержащий в небольших количествах мономеры (бутадиен,  $\alpha$ -метилстирол, стирол), продукты разложения каучука, смоляные и жирные кислоты, влагу, вентиляторами по коллектору подается во влагосмолоотстойник, орошаемый обратной водой. Схемой предусмотрена подача во влагосмолоотстойник воздуха из соседнего отделения.

Во влагосмолоотстойнике из отработанного воздуха отмываются смолы и вместе с водой поступают в ХЗК. Частично очищенный отработанный воздух поступает во всасывающую линию вентилятора, которым по трем магистральным воздуховодам подается в установку Д-6.

Вентилятор - состоит из:

- корпуса – улиты;
- вала;
- рабочего колеса;
- корпуса подшипников (картера);

- ходовая часть;
- соединительных полумуфт;
- электродвигателя.

Внутри улиты на валу расположено рабочее колесо из сварной крыльчатки, приклепанной к литой ступице. Крыльчатка состоит из основного диска, одного конуса и 16 лопаток. Ходовая часть состоит из вала, разъемного литого корпуса подшипников, радиально-упорного сдвоенного шарикоподшипника и двух роликоподшипников. Корпус ходовой части имеет масляную ванну, в которую заливается промышленное масло марок И-40А или И-50А, для смазки подшипников. Контроль за уровнем масла визуальный по отметкам на маслоуказателе, масло должно быть залито до уровня между верхней и нижней отметкой на маслоуказателе. Заливку масла производить только через фильтрующую сетку.

Вентилятор приводится во вращение непосредственно от электродвигателя через втулочно-пальцевую муфту. На приемном патрубке улиты имеется направляющий диффузор, предназначенный для регулирования производительности вентилятора. На всасывающей и нагнетающей линиях вентилятора имеются шиберы. Давление отработанного воздуха в коллекторе регистрируется прибором. Технологической схемой имеется возможность забора атмосферного воздуха в магистральные коллекторы в установку Д-6 открытием шиберов, установленного наверху влагосмолоотстойника. При неисправности вентилятора забор воздуха производится из атмосферы открытием шиберов, установленных на шунтовых коллекторах. На коллекторах отработанного воздуха в районе соседней установки имеются гидрозатворы, через которые выводятся влага и смолообразные продукты, сконденсированные непосредственно в коллекторах. Технологической схемой имеется возможность подачи пара в коллектор отработанного воздуха из сушилок для тушения возможных загораний. В установке Д-6 происходит сжигание отработанного воздуха (газов) в трубчатой печи.

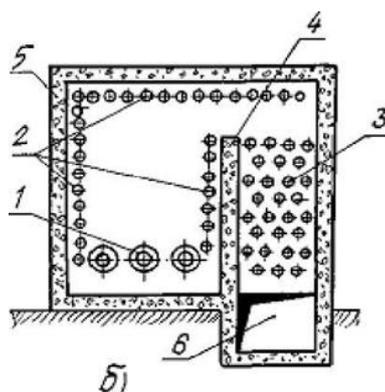
Таблица 7 – Характеристика оборудования

Наименование оборудования или технических устройств	Количество	Материал, способ защиты	Техническая характеристика	
Влагосмолоотстойник для отделения воды и смолы из воздуха, поступающего из сушилок	1	ВСтЗпс2	Объем Общая высота Высота отстойника Диаметр трубы Расчетное давление Расчетная температура Производительность по отработанному воздуху	97,6 м <sup>3</sup> 20000 мм 3600 мм 1600 мм атмосферное 160 <sup>0</sup> С 200000 м <sup>3</sup> /час
Вентилятор для подачи воздуха из влагосмолоотстойника № 23 в печи установки Д-6	1	Сталь 3	Тип Производительность Напор Число оборотов вентилятора Максимально-допустимая температура газов Электродвигатель марки Мощность электродвигателя Число оборотов электродвигателя Исполнение	Д-20 правого вращения 140000 м <sup>3</sup> /час 250 мм вод. ст. 585 в минуту до 250 <sup>0</sup> С А-12-52-10 250 квт/час 600 в минуту нормальное

### 2.3 Сжигание отработанного воздуха

«Трубчатая печь предназначена для отдачи нагреваемому продукту тепла, которое выделяется при сжигании топлива в топочной камере печи. Трубчатые печи очень популярны в нефтехимической промышленности. Они являются составной частью многих установок и широко применяются в различных технологических процессах»[12].

«По внешнему виду трубчатая печь представляет собой небольшой домик (рисунок 10). Технологическая печь, трубчатая, камерная с фронтальным расположением горелок и нижним (принудительным) отводом дымовых газов, для сжигания газообразных отходов производств, утилизации тепла за счет нагрева воды циркулирующей по радиантным и конвекционным змеевикам печи»[30].



1-горелка; 2-радиантный змеевик; 3-конвективный змеевик; 4-перевальная стенка; 5-обмуровка; 6-боров (дымоход).

Рисунок 10 - Схематичное изображение трубчатых печей

«Корпус—сталь углеродистая, внутри выложена огнеупорным кирпичом. В печи вода распределяется по двум потокам: в конвекционные и радиантные змеевики:

- первый поток - вода проходит четырехпоточный конвекционный змеевик, затем пятипоточный конвекционный змеевик и поступает в коллектор к потребителям тепла;

- второй поток - вода проходит семипоточный радиантный змеевик и поступает в коллектор к потребителям тепла.

Печь оборудована горелками типа ГП-2 – 8 шт., для сжигания газообразного топлива:

- номинальная производительность горелок на газе - 240 м<sup>3</sup>/час;
- давление газа перед горелкой - 100-2000 кгс/м<sup>2</sup> (0,01-0,2 кгс/см<sup>2</sup>);
- коэффициент избытка воздуха - 1,2»[5].

«Для усовершенствования процесса розжига предлагается предусмотреть дистанционный розжиг горелок печи. Система дистанционного электрозапального устройства СЗФ-3IV—это процесс дистанционного розжига дежурных горелок, которая состоит из контрольной горелки и запального шкафа.

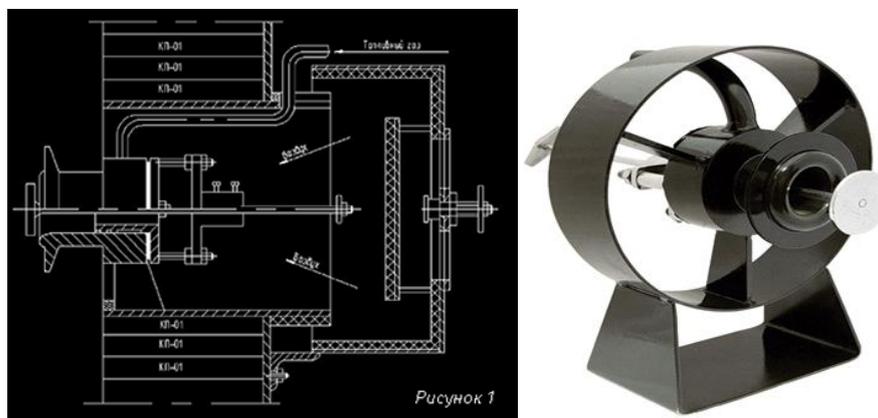


Рисунок 11 - Газовая горелка

Дистанционный розжиг состоит из следующих этапов:

- подбор соотношения топливного газа и воздуха в газозооной смеси (в смесителе запального шкафа), подаваемой в контрольную горелку;
- дистанционный розжиг дежурных горелок факельного ствола;
- поджигание от пламени дежурных горелок углеводородных газов и паров, сбрасываемых из технологических цехов»[13].

«Трубы, которые расположены в радиантной камере, называют радиантными змеевиками. Их обогрев происходит в основном за счет теплового излучения, тоест радиации факелов пламени и раскаленных продуктов сгорания, и поэтому камера носит название радиантной. В печи в радиантной зоне количество труб 21. Трубы, которые расположены в конвекционной камере, называют конвекционными змеевиками. В обогреве данных труб большую роль играет теплопередача от дымовых продуктов

путем конвекции (отсюда и название камеры). В печи конвекционной зоны 125 труб.

Газообразное топливо (природный газ, абгаз, отдувки), подводимое к форсункам горелок, сгорает в камере радиации с выделением тепла, которое используется для подогрева конденсата, для получения водяного пара 13 кгс/см<sup>2</sup>»[14].

## **Глава 3 Предлагаемая схема очистки и сжигания отработанного воздуха**

### **3.1 Скруббер ротационного типа**

Это аппарат, который очень высокоэффективен при газоочистке от твердых примесей. Устройство относится к категории мокрых газовых золоуловителей. 95% нежелательных включений будут абсорбированы очищаемой жидкостью. На выходе вы будете получать чистый воздух или газ, необходимый для любого производства. «Ротационный скруббер – это сепаратор с высоким КПД, который служит для разделения мелких частиц пыли; физического и химического поглощения вредных газов; охлаждения газа и удаления запаха из него»[30].

Широкий спектр отраслей включил скрубберы ротационного типа в производственные линии и системы вентиляции:

- коксохимическая;
- углеперерабатывающая;
- камне и металлообрабатывающая;
- деревоперерабатывающая;
- камнедобывающая и пр.

Каждое производство, устанавливая скруббер становится обладателем проверенного временем оборудования, теперь уже модернизированного производителем для увеличения эффективности и снижению расходов на содержание.

Ротационный скруббер, состоит из:

- электродвигателя;
- вентиляторного колеса;
- кожуха с абсорбирующей камерой;
- пылеприемника;
- выхлопного патрубка;

- водоциркуляционного оборудования с трубами, баком и запорной арматурой.

Внешне устройство представляет собой вертикально ориентированную цилиндрическую колонну.

### **3.1.1 Технология очистки**

Принцип действия скруббера ротационного типа основан на абсорбции твердых частиц при прохождении газа сквозь водяной туман. Тангенциально расположенное входное воздушное отверстие нагнетает в камеру воздух, закручивая его вдоль стен цилиндрического кожуха.

По пути, частицы, которые подлежат удалению, сталкиваются с лопастями вентилятора, которые смочены очищаемой жидкостью. Приводной механизм расположен за пределами кожуха для свободного доступа и обслуживания. На вентиляторных лопатках происходит дисперсия жидкости, превращающейся в вихрь водяного тумана. Образующиеся при соприкосновении частиц с каплями воды частицы обволакивают внутренние стенки камеры, стекая вниз. Для исключения налипания, стенки непрерывно смачиваются водой. Полученный шлам находится внизу, и выводится из аппарата посредством выпускной задвижки в днище. Вода направляется в бак для повторного использования.

Преимущества:

- высокая эффективность очистки за счет работы скруббера в турбулентном режиме;
- отсутствие внутренних устройств (насадок, тарелок), что исключает засорения свободного сечения скрубберов примесями из орошающего раствора;
- разделение газа и поглощение пыли в один этап;
- простота в эксплуатации;

- низкое расход воды на орошение, низкое энергопотребление, низкое гидравлическое сопротивление и, как следствие, низкие эксплуатационные расходы;
- компактный дизайн;
- надежные современные технологии.

### **3.1.2 Предлагаемая технологическая схема очистки и подачи отработанного воздуха на сжигание**

Загрязненный газ поступает в ротационный скруббер тангенциально в нижнюю часть аппарата. На входе в аппарат устанавливается стадия предварительного охлаждения газа и осаждения загрязняющих веществ. Под действием центробежной силы начинается улавливание наиболее крупных частиц газовой фазы.



Рисунок 12 – Распылительное устройство

Затем газовый поток поднимается к областям контакта с мелкодисперсной фазой, создаваемой специальными распылительными устройствами (рисунок 12). В этих областях создается турбулентный режим,

многократно увеличивающий поверхность массообмена и конвективную диффузию. Осуществляется полное улавливание загрязняющих частиц газа созданными каплями жидкости, их дальнейшая коагуляция и сепарация капель (отбрасывание) за счет гидродинамического режима и центробежных сил к стенкам аппарата, откуда пленкой скрубберная жидкость направляется на внешний циркуляционный бак.

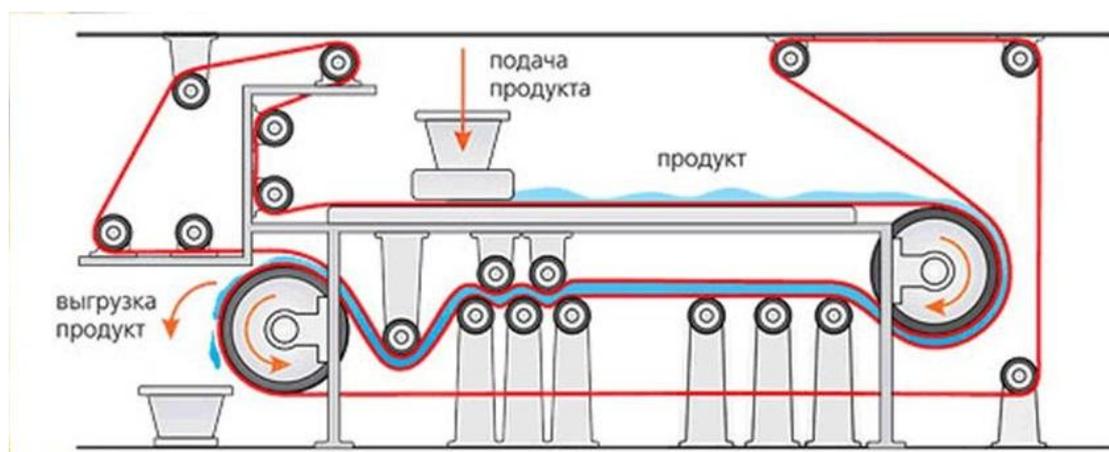


Рисунок 13 – Пример системы фильтрации по типу ленточного фильтра

Благодаря специальному устройству циркуляционного бака по типу «двойной емкости», с поверхностного слоя скрубберной жидкости, содержащего наибольшее количество смолянистых соединений и жирных кислот, осуществляется постоянный слив, направляющийся на фильтрацию в ленточный фильтр. Основной объем скрубберной жидкости из нижней части циркуляционного бака насосами направляется в циркуляционный контур – обратно в скруббер на распылительные устройства.

При необходимости в систему добавляется подпиточная вода, также система снабжена возможностью очистки основных узлов с помощью подводимого из сети пара.

Технологическая схема включает в себя:

- улавливание частиц пыли, капель жирных кислот и нейтрализация кислых туманов в ротационном скруббере;
- очистка скрубберной жидкости от жирных кислот.



Рисунок 14 – Внутреннее устройство ротационного скруббера

Смола с ленточного фильтра будет поступать в бункер, который будет очищаться по мере его заполнения, а отход будет направляться на размещение.

Номер и название отхода по ФККО: 31619311323 - отходы мокрой очистки отработанного воздуха производства каучуков синтетических.

Количество образуемого отхода в соответствии со «Сборником удельных показателей образований отходов производства и потребления», будет составлять 17 кг/т (0,017 т/т) готовой продукции.

В соответствии с максимально достигнутой мощностью образование отхода в год составит:

$$31578 \cdot 0,017 = 536,8 \text{ (т/год).}$$

### 3.1.3 Расчет аппарата

«Исходные данные для расчета:

1. Расход отходящих газов –  $200000 \text{ м}^3/\text{час}$ .
2. Скорость газа по сечению аппарата –  $1,9 \text{ м/с}$ .
3. Расход поглощающей жидкости –  $1,4 \text{ м}^3/10000 \text{ м}^3 \text{ газа}$ .

4. Концентрация пыли в отходящих газах – 3,78 г/м<sup>3</sup>.
5. Соотношение высота: диаметр скруббера –3:1.
6. Степень очистки газа от пыли – 0,95.

При расчете скруббера нужно произвести расчет его геометрических размеров, расход поглотительной жидкости и массу улавливаемой пыли.

1) При заданном расходе газа рассчитываем площадь сечения скруббера по данному уравнению:

$$S = Q_{\Gamma}/v; \quad (7)$$

$$S = 200000/(3600 \cdot 1,9) = 29,24 \text{ м}^2,$$

где  $S$  – площадь сечения скруббера, м<sup>2</sup>;

$Q_{\Gamma}$  – расход газа, м<sup>3</sup>/с;

$v$  – скорость сечения аппарата, м<sup>2</sup>.

2. Так как скруббер представляет собой цилиндрическую конструкцию, то ее диаметр равен:

$$D = (4S/\pi)^{0,5}; \quad (8)$$

$$D = (4 \cdot 29,24/3,14)^{0,5} = 6,1 \text{ м.}$$

3. Высоту скруббера определяем по соотношению:

$$H = k \cdot D; \quad (9)$$

$$H = 3 \cdot 6,1 = 18,3 \text{ м.}$$

4. Расход поглотительной жидкости производим, исходя из ее расхода на 10000 м<sup>3</sup> газа. Для вывода расчетной формулы необходимо воспользоваться пропорцией:

на 10000 м<sup>3</sup> газа расходуется объем жидкости  $q$ ;

на  $Q_{\Gamma}$  расходуется  $Q_{\text{ж}}$ .

Откуда:

$$Q_{\text{ж}} = Q_{\Gamma} \cdot q / 1000; \quad (10)$$

$$Q_{\text{ж}} = 200000 \cdot 1,4 / (3600 \cdot 10000) = 0,000778 \text{ м}^3/\text{с},$$

где  $Q_{\text{ж}}$  – расход поглотительной жидкости, м<sup>3</sup>/с.

5. При поглощении пыли жидкостью образуется суспензия. Отработанный раствор очищается методом фильтрования, происходит удаление из него твердой фазы и он используется повторно.

Масса улавливаемой пыли  $m$  рассчитывается по формуле:

$$m = C \cdot Q_{\Gamma} \cdot \eta; \quad (11)$$

$$m = 3,78 \cdot 200000 \cdot 0,95 / 3600 = 199,5 \text{ г/с,}$$

где  $C$  - концентрация пыли в исходном газе,  $\text{г/м}^3$ ;

$\eta$  – эффективность улавливания пыли скруббером.

6. Тогда концентрация твердой фазы в пульпе будет равна:

$$A = m / Q_{\text{ж}}; \quad (12)$$

$$A = 199,5 / 0,000778 = 256426,7 \text{ г/м}^3.$$

7. Концентрацию пыли на выходе из скруббера рассчитываем по формуле:

$$H = (C_{\text{н}} - C_{\text{к}}) / C_{\text{н}}, \quad (13)$$

где  $\eta$ - эффективность очистки;

$C_{\text{н}}$  – концентрация пыли в отходящих газах на входе в скруббер;

$C_{\text{к}}$  – концентрация пыли на выходе из скруббера.

Отсюда:

$$C_{\text{к}} = C_{\text{н}} - C_{\text{н}} \cdot \eta = C_{\text{н}}(1 - \eta); \quad (14)$$

$$C_{\text{к}} = 3,78 \cdot (1 - 0,95) = 0,189 \text{ г/м}^3 \gg [29].$$

## Заключение

В бакалаврской работе рассмотрен процесс сушки каучука и очистки и подачи на сжигание отработанного воздуха от нее на производстве «УСП СБСК» в ООО «СИБУР Тольятти».

На данной установке используется устаревшее оборудование, для очистки отработанных газов. При очистке образуется шлам в виде смолы, которая попадает в химические стоки предприятия. При использовании измененной технологической схемы, благодаря специальному устройству циркуляционного бака по типу «двойной емкости», с поверхностного слоя скрубберной жидкости, содержащего наибольшее количество смолянистых соединений и жирных кислот, будет осуществляться постоянный слив, и направляться на фильтрацию в ленточный фильтр. Смола будет собираться в специальный бункер и не будет загрязнять химические стоки.

## Список используемых источников

1. Аверко-Антонович Л.А. и др. Химия и технология синтетического каучука. – М.: Химия, КолосС, 2008. - 357 с.
2. Автухов В. В., Паюсе Б. Я. Задачник по процессам тепломассообмена. Учеб. Пособие для вузов. – М.: 1986. - 144 с.
3. Баркан М. Ш., Пашкевич, М. А., Бурмистрова В. В. Методы и системы очистки газов: Учебное пособие. Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет). СПб, 2006. - 94 с.
4. Башкатов Т. В., Жигалин Я. Л. Технология синтетических каучуков: Учебник для техникумов. 2-е изд., перераб. Л: Химия, 1987. - 360 с.
5. Буренин В. В. Защита атмосферного воздуха от производственной пыли, токсичных паров и газов//Экология и промышленность России. - 2004. - №9. 25-29 с.
6. Ветошкин А. Г. Инженерная защита атмосферы от вредных выбросов [Электронный ресурс]: учеб.-практ. пособие / А. Г. Ветошкин. - Москва: Вологда: Инфра-Инженерия, 2016. - 316 с. : ил. - ISBN 978-5-9729-0128-9.
7. Гетия И. Г., Скребенкова Л. Н., Леонтьева И. Н., сборник: НАУЧНЫЙ ВЗГЛЯД НА СОВРЕМЕННОЕ ОБЩЕСТВО, сборник статей Международной научно-практической конференции, 2015. 17-19 с.
8. Голубин А.К. , Никонорова С.П., Сахнова Г.В., Туркевич С.Г. , Шканов С.И., В арламо в А.Р., Гайдамак И.Л., Макарова И.Ю. / Сборник у дельных показателей образования отходов производства и потребления – Москва, 1999 – 76 с.
9. Горемыкин М. К., Панов С. Ю., Красовицкий Ю. В., Болдырев А. М., Шаповалов Ю. Н. Расчет и выбор пылеулавливающего оборудования:

Учебн. пособие для студентов высших уч. заведений с грифом УМО/В.А. - Воронеж. гос. арх.- строит. акад. – Воронеж. 2000. - 326 с.

10. Гредел Т. Е. Промышленная экология / Т. Е. Гредел, Б. Р. Алленби /Пер.с англ. Под ред. Э. В. Гирусова (Серия «Зарубежный учебник»). – М.: Изд-во ЮНИТИ, 2004 - 527 с.

11. Гусев Ю. К., Папков В. Н. Каучуки эмульсионной полимеризации. Состояние производства в Российской федерации и научно-исследовательские работы Воронежского Филиала ФГУП «НИИСК». //Каучук и резина. - 2009. -№2. -С.

12. Демина Т. А. Экология, природопользование, охрана окружающей среды: учебное пособие для вузов / Т. А. Демина, А. Б. Борисов. - М.: Аспект пресс, 1995. - 102 с.

13. Дикарь В. Л., Дейнека А. Г., Михайлив И. Д., Основы экологии и природопользования. – Харьков; ООО «Олант», 2002. – 384 с.

14. Дубальская Э. Н. Очистка отходящих газов - М.,1991. - 256 с.

15. Дубов А. В. Газоочистные аппараты сухого и мокрого типов. М.: Химия, 1993. - 320 с.

16. Дытнерский, Ю. И. Основные процессы и аппараты химической технологии.-М.: Химия, 1983. - 400 с.

17. Инструкция по обслуживанию узла сушки каучука ООО «СИБУР Тольятти». - Тольятти 20015. - 15 с.

18. Инструкция по обслуживанию узла очистки и подачи отработанного воздуха на сжигание «СИБУР Тольятти». - Тольятти 20015. - 20 с.

19. Инструкция по обслуживанию узла сбора парового конденсата и откачки его в конденсатопровод, ООО « СИБУР Тольятти». - Тольятти 2015. - 24 с.

20. Инструкция по обслуживанию узла нейтрализации химических стоков, ООО « СИБУР Тольятти». - Тольятти 2015. - 19 с.

21. Иофе И. Л. Проектирование процессов и аппаратов химической технологии - Л.: Химия, 1991. - 352 с.
22. Коновалов Н. М., Войнов Н. А., Марков В. А., Николаев Н. А. Массоотдача при свободном стекании пленки жидкости по наружным и внутренним поверхностям труб // Теор. основы хим. технол. 1993. - 582 с.
23. Константинов В. М. Экологические основы природопользования, 15-е изд. - М.: 2014. - 240 с.
24. Коузов П. А. Очистка газов и воздуха от пыли в химической промышленности. Л.: Химия, 1993. - 320 с.
25. Кочетов О. С., Османов З. Н., Шутова А. Л., сборник: АВТОМАТИЗАЦИЯ: ПРОБЛЕМЫ, ИДЕИ, РЕШЕНИЯ, сборник статей Международной научно-практической конференции, 2017. 91-93 с.
26. Мухленов И. П., Горштейн А. Е., Тумаркина Е. С. Основы химической технологии: Учебник для студентов хим.-технол. спец. вузов / Под ред. И. П. Мухленова. - 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Высш. школа, 1991. - 463 с.
27. Никалаева Г. И. Массообменные процессы: Учебное пособие. - Улан-Удэ: изд-во ВСГТУ, 2005. - 238 с.
28. Официальный сайт ООО «СИБУР Тольятти» - <https://www.sibur.ru/togliatti/>.
29. Павлов, К. Ф., Романков, П. Г., Носков, А. А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. Л.: Химия, 1987. - 576 с.
30. Плановский, А. Н., Николаев П. И. Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии. Издание 3.-М.: Химия, 1987. - 496 с.
31. Попов М.А. Инженерная защита окружающей среды на территории города. — М.: Изд-во МГУП, 2005. – 231 с.

32. Правила безопасности 09-540-03. Общие правила взрывоопасности для взрывоопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабаты-вающих производств. 2006. - 112 с.
33. Правила безопасности 03-584-03. Правила проектирования, изготовления и приемки сосудов и аппаратов стальных сварных. 2003. - 98 с.
34. Родионов А. И., Клушин В. Н., Систер В. Г. Технологические процессы экологической безопасности. Калуга: Издательство Н. Бочкаревой, 2000. – 800 с.
35. Стрекалова В. А. Процессы и аппараты защиты атмосферы: Учебное пособие к теоретическому курсу / Стрекалова В. А., Стрекалова Т. А., Егорихина Д. Ю. – СФУ, Красноярск, 2008. - 119 с.
36. Технологический регламент УСП СБСК.
37. Технологический регламент установки Д-6.
38. Тимонин А. С. Инженерно-экологический справочник. Учебное пособие в 3х томах – Калуга: Изд-во Бочкаревой, 2003. - 884 с.
39. Садовникова, Л. К. Экология и охрана окружающей среды при химическом загрязнении / Л.К. Садовникова, Д.С. Орлов, И.Н. Лозановская. – М.: Высш. шк., 2006. - 334 с.
40. Шмырев Д. В., Горбунова В. А., Кочетов О.С., сборник: В МИРЕ НАУКИ И ИННОВАЦИЙ, сборник статей международной научно-практической конференции, 2016. 204-206 с.
41. Штокман Е. А. Очистка воздуха – М.: Изд. АСВ, 1999 - 456 с.
42. Юшин В. В., Попов В. М., Кукин П. П. и др. /Техника и технология защиты воздушной среды - М.: Высш. шк., 2005. - 391 с.

