



## Аннотация

Бакалаврская работа содержит 79 страниц, 6 рисунков, 12 таблиц, 33 источника используемой литературы.

Ключевые слова: абсорбционные методы очистки,  $\alpha$ -метилстирол, скруббере, полиметилсилоксановая жидкостью.

В бакалаврской работе объектом исследования является установка выделения эмульсионных каучуков производства СБСК ООО«Тольяттикаучук».

В рамках данной работы проведена расчетная работа по использованию альтернативного метода очистки отработанного воздуха после сушки каучука на установке выделения эмульсионных каучука Е-2.

В литературном обзоре изучены физико-химические методы утилизации, очистки производственных выбросов.

Рассчитаны материальные балансы очистки отработанного воздуха после скруббера и абсорбера, на основании которых выбран метод очистки с помощью полиметилсилоксановой жидкостью.

Рассчитаны тепловые балансы и выполнен конструктивный расчет скруббера и абсорбера, по существующему и предлагаемому методу.

В работе приведен обзор аналитического контроля производства, выпускаемой продукции, охарактеризованы безопасность и экологичность проекта.

Область применения: результаты исследования можно использовать на производстве СБСК установки выделения эмульсионных каучуков для очистки отработанного воздуха от  $\alpha$ -метилстирол.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	5
1 Аналитический обзор.....	7
1.1 Характеристика производимой продукции .....	7
1.1.1 Каучук синтетический бутадиен-метилстирольный СКМС-30АРКМ-15 .....	7
1.1.2 Каучук синтетический СКМС-30АРКМ-27 .....	10
1.1.3 Эластомерный продукт.....	11
1.1.4 Коагулюм .....	12
1.2 Описание процесса сушки каучука .....	12
1.3 Сушка каучука в сушилке С-1/5,6 .....	15
1.4 Характеристика отходящих газов после сушки.....	18
2 Описание технологической схемы очистки отходящих газов .....	20
2.1 Существующие способы очистки отходящих газов.....	20
2.2 Технологическая схема абсорбционной части блока газофракционирования узла очистки воздушных выбросов производства СБСК от $\alpha$ -метилстирола.....	29
2.3 Устройство и принцип работы насадочного абсорбера.....	31
3 Расчетное обоснование проектируемого узла очистки отходящих газов в абсорбере.....	36
3.1 Исходные данные и обоснование технологического решения .....	36
3.2 Расчет скруббера для очистки от пыли.....	37
3.3 Технологический и гидравлический расчет насадочного абсорбера .....	43
3.3.1 Исходные данные для расчета .....	43
3.3.2 Материальный баланс.....	43
3.3.3 Расчет движущей силы .....	46
3.3.4 Расчет коэффициента массопередачи .....	47
3.3.5 Расчет скорости газа и диаметра абсорбера .....	48

3.3.6	Определение плотности орошения и активной поверхности насадки	49
3.3.7	Расчет коэффициентов массоотдачи	507
3.3.8	Определение поверхности массопередачи и высоты аппарата	53
3.3.9	Расчет гидравлического сопротивления проектируемого абсорбера	53
3.4	Прочностной расчет узла очистки	54
3.4.1	Обоснование выбора материала корпуса аппарата	54
3.4.2	Определение толщины стенки элементов корпуса аппарата и допускаемого внутреннего давления	56
3.4.3	Прочностной расчет основных элементов аппарата	59
3.4.4	Выбор и расчет опоры	63
4	Безопасность и экологичность проекта	66
4.1	Выявление и анализ факторов опасности	66
4.2	Меры безопасности при ведении технологического процесса, выполнении регламентных производственных операций	69
4.3	Индивидуальные и коллективные средства защиты работающих, тушение возможных загораний	72
	Заключение	75
	Список используемой литературы и используемых источников	768

## Введение

ООО «Тольяттикаучук» – одно из крупнейших предприятий нефтехимического комплекса России. Промышленная инфраструктура предприятия расположена на общей площади 400 га в северной части города.

С 01.11.2019 предприятие вошло в состав ПАО «Татнефть». 21.11.2019 предприятию возвращено историческое название – ООО «Тольяттикаучук».

В 2014 году установлены границы санитарно-защитной зоны (СЗЗ), утвержденные Главным Государственным санитарным врачом России. Состояние воздушной среды на границе СЗЗ контролируется аккредитованной лабораторией ООО «Тольяттикаучук» в 5-ти точках по 17 компонентам.

«Основная деятельность предприятия – производство синтетических каучуков различных марок, которые являются сырьем для производства шин и резинотехнических изделий, а также применяются в строительной, медицинской, пищевой отраслях промышленности.

Сополимерные бутадиен-стирольные каучуки применяются в шинной, резинотехнической и других отраслях промышленности. Изопреновый каучук используется для изготовления шин и резинотехнических, медицинских изделий, резин, соприкасающихся с пищевыми продуктами. Бутилкаучук применяется для изготовления автокамер, диафрагм форматоров-вулканизаторов и прорезиненных тканей, изделий медицинского и пищевого назначения, в строительной промышленности.

При сушке каучуков в атмосферу выбрасывается большое количество отработанного воздуха со сравнительно невысокой концентрацией углеводородов и других органических веществ. Это в основном остатки растворителей и мономеров (толуол, изопентан, стирол,  $\alpha$ -метилстирол, изопрен, нитрил акриловой кислоты, хлористый метил и другие), полная рекуперация которых в процессе выделения каучука по технологическим соображениям затруднительна. Основными источниками выбросов в атмосферу неорганической пыли являются дымовые трубы установок

дегидрирования углеводородов производства мономеров и катализаторные производства» [17].

Целью выпускной квалификационной работы является разработка узла очистки воздушных выбросов при производстве синтетического бутадиен-стирольного каучука от  $\alpha$ -метилстирола.

Поставленная цель реализуется путем решения следующих задач:

- Анализ состава отходящих в процессе сушки газообразных выбросов, общих принципов и подходов к осуществлению процессов очистки газообразных выбросов в промышленности.

- Выбор способа очистки отработанного в процессе сушки воздуха.

- Расчет основного аппарата узла очистки воздушных выбросов.

Структурно работа состоит из аналитического обзора, описания технологической схемы предлагаемого способа очистки отходящих газов, расчётного обоснования проектируемого узла очистки отходящих газов, рассмотрения безопасности и экологичности проекта.

## **1 Аналитический обзор**

### **1.1 Характеристика производимой продукции**

#### **1.1.1 Каучук синтетический бутадиен-метилстирольный СКМС-30АРКМ-15**

«Каучук синтетический СКМС-30АРКМ-15, содержащий высокоароматическое масло, получается совместной полимеризацией бутадиена с  $\alpha$ -метилстиролом в эмульсии при температуре 4-8 °С с применением в качестве эмульгатора смеси мыл диспропорционированной канифоли и синтетических жирных кислот или комплексных эмульгаторов» [17].

Каучук стабилизирован антиоксидантом фенольно-аминного типа, содержит высокоароматическое масло-пластификатор (аббревиатура для обозначения типа масла в торговом названии каучука - «НН-АР») или масло с контролируемым содержанием полициклических ароматических углеводородов (аббревиатура масла «ТДАЕ»).

Допускается применение иных типов масел-пластификаторов по согласованию с потребителями каучука [1,3].

Физико-химические свойства и константы каучука синтетического СКМС-30АРКМ-15 указаны в таблице 1.

Кроме того, в соответствии с ГОСТ 11138-78 с изм. № 1 - 6:

- Каучук не должен содержать посторонних включений, включений структурированного и влажного полимера.

- Каучук должен быть однородным – показатель вязкости по Муни каждого брикета поставляемой партии каучука, в том числе и предназначенного для экспорта, должен соответствовать нормам, установленным для 1 и 2-й групп каучука, и не должен отличаться в пределах одной партии на 6 единиц для каучука высшего сорта и более чем на 8 единиц для каучука первого сорта [17].

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

«1. Внешний вид	Твердый материал темно-коричневого 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	285
5. Температура самовоспламенения, °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 α-метилстирола» [17].

По физико-химическим показателям каучук должен соответствовать требованиям, указанным в таблицах 2 и 3 соответственно.

Таблица 2 - Физико-химические показатели каучука синтетического СКМС-30АРКМ-15 согласно ГОСТ 11138-78 с изм. № 1 – 6

«Наименование показателей	Высший сорт	Первый сорт
1. Вязкость по Муни МБ 1+4 (100 °С) группа 1 группа 2	37-44 45-54	36-44 45-54
2. Условная прочность при растяжении, МПа (кгс/см <sup>2</sup> ), не менее группа 1 группа 2	24,0 (245) 25,0 (255)	23,5 (240) 24,5 (250)
3. Относительное удлинение при разрыве, %	550-750	550-750
4. Эластичность по отскоку, %, не менее	28	27
5. Массовая доля металлов, %, не более: - меди - железа	0,00015 0,003	0,00015 0,005
6. Массовая доля золы, % не более	0,6	0,6
7. Потеря массы при сушке, %, не более	0,35	0,40
8. Массовая доля антиоксиданта ВС-1, %	0,15-0,35	0,15-0,35
9. Массовая доля органических кислот, %	5,4-6,7	5,0-6,7
10. Массовая доля мыл органических кислот, %, не более	0,25	0,30
11. Массовая доля масла, %	14,5-17,0	14-17
12. Массовая доля связанного второго мономера - α-метилстирола, %	21-24	21-24» [17]

«Каучук с вязкостью по Муни группы 1 высшего сорта должен иметь нормы жесткости по Дефо 5,30-6,50 Н и эластического восстановления – не более 2,8 мм, каучук первого сорта – жесткости по Дефо 5,00-6,50 Н и эластического восстановления – не более 2,8 мм.

Каучук с вязкостью по Муни группы 2 высшего и первого сортов должен иметь нормы жесткости по Дефо 6,51-8,00 Н и эластического восстановления – не более 3,2 мм» [17].

Таблица 3 - Физико-химические показатели каучука синтетического СКМС-30АРКМ-15 согласно ТУ 2294-044-48158319-2010 с изм. № 3, 4

Наименование показателя	Норма
«1. Вязкость по Муни MML 1+4 (100 °С) группа 1	38-46
группа 2	47-56
2. Разброс вязкости по Муни внутри партии, ед. Муни, не более	8
3. Массовая доля летучих веществ, %, не более	0,6
4. Массовая доля антиоксиданта ВС-1, %	0,15-0,35
5. Условная прочность при растяжении, МПа, не менее	21,0
6. Условное напряжение при 300 % удлинении, МПа, не менее	9,8
7. Относительное удлинение при разрыве, %	400-650
8. Вулканизационные характеристики:	
- минимальный крутящийся момент (ML), дН•м	1,6-3,6
- максимальный крутящийся момент (MH), дН•м	14,0-20,0
- время до начала вулканизации (ts1), мин	2,0-5,5
- время до достижения 50 % степени вулканизации (t'50), мин.	7,0-11,0
- время до достижения 90 % степени вулканизации (t'90), мин.	14,0-20,0
9. Массовая доля золы, %, не более	0,6
10. Массовая доля железа, %, не более	0,005
11. Массовая доля органических кислот, %	5,0-6,7
12. Массовая доля мыл органических кислот, %, не более	0,3
13. Массовая доля масла, %	14-17
14. Массовая доля связанного альфа-метилстирола, %	21-24» [17]

«Каучук не должен содержать механических включений, включений влажного и структурированного полимера. Каучук не должен прилипать к упаковке (контейнерам).

Каучук выпускается в виде брикетов массой (30±1) кг» [17].

Каучук СКМС-30АРКМ-15 предназначен для производства шин и резинотехнических изделий.

### 1.1.2 Каучук синтетический СКМС-30АРКМ-27

Каучук синтетический СКМС-30АРКМ-27 является продуктом совместной полимеризацией бутадиена с  $\alpha$ -метилстиролом в эмульсии при температуре (4-8) °С [17].

Каучук стабилизирован антиоксидантом фенольно-аминного типа, содержит высокоароматическое масло-пластификатор (аббревиатура для обозначения типа масла в торговом названии каучука - «HI-AR») или масло с контролируемым содержанием полициклических ароматических углеводородов (аббревиатура масла «TDAE»)

Допускается применение иных типов масел-пластификаторов по согласованию с потребителями каучука.

Физико-химические свойства и константы каучука синтетического СКМС-30АРКМ-27 указаны в таблице 4.

Таблица 4 - Физико-химические свойства и константы каучука синтетического СКМС-30АРКМ-27

«1. Внешний вид	Твердый материал темно-коричневого 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	285
5. Температура самовоспламенения, °С	336
6. Реакционная способность	Окисление, деструкция
7. Другие показатели	При соблюдении условий хранения, транспортирования и переработки стабилен. При повышенной температуре и при переработке обладает запахом альфа-метилстирола» [17]

По физико-химическим показателям каучук должен соответствовать требованиям, указанным в таблице 5.

Таблица 5 - Физико-химические показатели каучука синтетического СКМС-30АРКМ-27 согласно ТУ 20.17.10-058-48158319-2016

Наименование показателя	Норма
«1. Вязкость по Муни ММL 1+4 (100 °С)	46-54
2. Разброс вязкости по Муни внутри партии, ед. Муни, не более	8
3. Массовая доля летучих веществ, %, не более	0,6
4. Массовая доля антиоксиданта ВС-1, %	0,3-0,7
5. Условная прочность при растяжении, МПа	Не нормируется Определение обязательно
6. Условное напряжение при 300 % удлинении, МПа	Не нормируется Определение обязательно
7. Относительное удлинение при разрыве, %	Не нормируется Определение обязательно
8. Вулканизационные характеристики:	Не нормируются Определение обязательно
- минимальный крутящийся момент (ML), дН•м	
- максимальный крутящийся момент (MH), дН•м	
- время до начала вулканизации (tsl), мин	
- время до достижения 50 % степени вулканизации (t'50), мин.	
- время до достижения 90 % степени вулканизации (t'90), мин.	
9. Массовая доля общей золы, %, не более	0,6
10. Массовая доля органических кислот, %	4,2-5,8
11. Массовая доля мыл органических кислот, %, не более	0,3
12. Массовая доля масла, %	26-29
13. Массовая доля связанного α-метилстирола, %» [17]	22-25

«Каучук не должен содержать механических включений, включений влажного и структурированного полимера. Каучук не должен прилипать к упаковке (контейнерам).

Каучук выпускается в виде брикетов массой (30±1) кг» [17].

Каучук СКМС-30АРКМ-27 предназначен для производства шин.

### 1.1.3 Эластомерный продукт

Эластомерный продукт группы ЭП-БСК - побочный продукт, образующийся при производстве каучука, получаемого совместной полимеризацией бутадиена с α-метилстиролом с применением комплексных эмульгаторов на основе мыл смоляных и жирных кислот.

Эластомерный продукт группы ЭП-ПК - полимерная крошка каучука, улавливаемая из водных стоков, представляющая собой смесь полимеров разной химической природы (бутадиен-а-метилстирольного, полиизопренового и бутилкаучука), с неконтролируемым соотношением полимеров в смеси и высоким содержанием влаги (до 50% массы). Технологическое место образования (сбора) крошки каучука отражается в аббревиатуре продукта при оформлении сопроводительных документов на отгрузку: ЭП-ПК-ЦВВ - смесь полимеров бутадиен-α-метилстирольного, полиизопренового и бутилкаучука; ЭП-ПК-130 - смесь полимеров бутадиен-α-метилстирольного и полиизопренового каучуков.

#### **1.1.4 Коагулюм**

Коагулюм образуется при производстве синтетических бутадиен-альфа-метилстирольных каучуков и латексов. В процессе сополимеризации, отгонки незаполимеризовавшихся мономеров, при усреднении латекса в емкостях полимер частично высаживается из латекса в виде коагулюма (осадка), забивая оборудование и трубопроводы.

Коагулюм в количестве не более 150 кг упаковывают в металлические бочки вместимостью 200 дм<sup>3</sup> с плотно закрывающимися крышками.

Коагулюм предназначен для применения в промышленности резинотехнических изделий (РТИ).

## **1.2 Описание процесса сушки каучука**

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 [10].

«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» [10] - [15].

«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» [15]. 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  $6,0 \text{ кгс/см}^2$  срабатывает ППК, сброс пара после ППК производится в атмосферу. Конденсат из калориферов сушильного агрегата через конденсатоотводчиков подается в теплообменник для нагрева умягченной воды или в емкость для сбора конденсата» [10].

«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  $\geq 140 \text{ }^\circ\text{C}$  по шкале прибора выдаются звуковой и световой сигналы в операторной. При завышении температуры в одной из вышеуказанных точек  $\geq 180 \text{ }^\circ\text{C}$  по шкале прибора выдаются звуковой и световой сигналы в операторной, срабатывает блокировка:

- автоматически останавливаются все электродвигатели сушильного агрегата (конвейеров, вентилярующих 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» [10].

«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  $7,0 \text{ кгс/см}^2$  по шкале прибора выдаются звуковой и световой сигналы в операторной. Индикация, регистрация, регулирование и ПАЗ технологических параметров осуществляются АСУТП» [10].

### **1.3 Сушка каучука в сушилке С-1/5,6**

«Крошка каучука по пневмотранспортеру Г-4/1,2 подается в приемный бункер сушилки С-1/5,6, где специальным устройством равномерно распределяется по всей ширине первого верхнего конвейера (яруса).

Крошка каучука, пройдя две температурные зоны, с первого конвейера поступает на второй нижний конвейер. На выходе с верхнего конвейера крошка каучука подвергается рыхлению и дроблению специальными рыхлителями и разрывными устройствами» [11].

«Прилипшая к перфорированным пластинам конвейеров крошка каучука снимается скребковым механизмом.

Нижним конвейером крошка каучука транспортируется через три температурные зоны нагрева и зону охлаждения к центральному выходному отверстию.

Сушка крошки каучука в сушилке С-1/5,6 осуществляется циркулирующим нагретым воздухом с постоянной подпиткой свежим воздухом.

Циркуляционными вентиляторами нижнего ряда № 7-17 воздух, находящийся над верхней ветвью конвейера через калориферы нижнего ряда подается в распределительную камеру, из которой поступает под верхнюю (рабочую) ветвь конвейера, где смешивается со свежим воздухом,

поднимается вверх, проходит через крошку каучука, высушивает ее и вновь поступает на повторный цикл» [11].

«Часть подогретого воздуха из 3-ей и 4-ой зоны нижнего ряда из-под верхней ветви конвейера по переходному воздуховоду поступает во 2-ую и 1-ую зону верхнего ряда (в пространство над верхней ветвью конвейера), где смешивается с циркулирующим воздухом верхнего ряда.

Циркуляционными вентиляторами № 1-3, № 4-6 1-ой и 2-ой зон через калориферы верхнего ряда осуществляется циркуляция нагретого воздуха в 1-ой и 2-ой зонах сушилки С-1/5,6.

Из пятой зоны сушилки С-1/5,6 крошка каучука поступает в зону охлаждения, где обдувается холодным воздухом, забираемым из помещения установки последним по ходу циркуляционным вентилятором № 18» [16].

Основная масса влаги удаляется из крошки каучука в первой зоне сушилки С-1/5,6, воздух там более насыщен влагой. В пятой зоне сушилки С-1/5,6 происходит досушивание крошки каучука (капиллярная сушка). Последняя зона является очень ответственной, так как крошка каучука почти высохла и легко может термопластицироваться, если допустить завышение температуры или увеличить время пребывания крошки каучука в сушилке С-1/5,6 [11].

«Время пребывания крошки каучука, в сушилке С-1/5,6 при режимной температуре не более 1,0 ч.

Общий расход пара в калориферы сушилки С-1/5,6 регистрируется прибором поз. 308/5,6.

Температуры в 1-5-ой зонах сушилки С-1/5,6 регистрируются и регулируются приборами поз. 101/5,6, 102/5,6, 103/5,6, 104/5,6, 105/5,6 соответственно, клапаны которых установлены на линиях пара в калориферы соответствующих зон сушилки С-1/5,6.

При завышении температуры воздуха в любой зоне сушилки  $\geq 140$  °С по шкале прибора поз. 101/5,6, 102/5,6, 103/5,6, 104/5,6, 105/5,6 выдается звуковой и световой сигналы в операторной.

Давление пара, подаваемого в калориферы сушилки С-1/5,6, выдерживается автоматически регистрируется и регулируется поз. 230, клапан которого установлен на линии пара в калориферы сушилки С-1/5,6.

При завышении давления в линии пара после регулирующего клапана поз.  $230 \leq 2,5 \text{ кгс/см}^2$  и  $\geq 6,0 \text{ кгс/см}^2$  выдается звуковой и световой сигнал в операторной.

При завышении давления в линии пара после регулирующего клапана поз.  $230 \geq 6,0 \text{ кгс/см}^2$  срабатывает ППК, сброс пара после ППК производится в атмосферу.

При давлении пара на паротушение сушилки  $C-1/5,6 \leq 7,0 \text{ кгс/см}^2$  и  $\geq 16,0 \text{ кгс/см}^2$  по шкале прибора поз. 216 выдается звуковой и световой сигнал в операторной.

Регистрация температуры пара на агрегаты С-1/5,6, температуры конденсата с сушилок № 5, 6, осуществляется приборами поз. 7205, 7210, 7211 соответственно, показания которых выведены в MES, АСОДУ» [11].

«Конденсат из калориферов сушилки С-1/5,6 через конденсатоотводчиков поступает в теплообменник № 85/2,3 для подогрева умягченной воды или в емкость № 75. Насыщенный влагой воздух из 1-ой, 2-ой и 5-ой зон сушилки С-1/5,6 вытяжными вентиляторами № 22б, № 22в, № 22г подается в собирающий коллектор сушилки С-1/5,6 и далее отводится во влагосмолоотстойник № 23.

Для предотвращения прилипания крошки каучука к перфорированным пластинам конвейеров, последние непрерывно опудриваются тонким слоем талька путем осаждения его в осадительной камере. Транспортировка талька производится воздухом, подаваемым в бачки Е-2.

Сушилка С-1/5,6 оборудована системой автоматического пожаротушения.

При завышении температуры воздуха в любой зоне сушилки или после любого вытяжного вентилятора № 22б, 22в, 22г  $\geq 140 \text{ }^\circ\text{C}$  по шкале прибора

поз. 106а/1-5, 106б/1-3 выдается звуковой и световой сигналы в операторной» [11].

«При завышении температуры в одной из вышеуказанных точек  $\geq 180$  °С по шкале прибора поз. 106а/1-5, 106б/1-3 выдаются звуковой и световой сигнал в операторной, срабатывает блокировка:

- автоматически останавливаются все электродвигатели сушилки С-1/5,6 (конвейеров, вентиляторов, приводных и натяжных станций);
- автоматически открывается электрозадвижка Э-1/5,6 на линии пара на паротушение,
- автоматически закрывается дроссельная заслонка Э-2/5,6 на коллекторе отработанных газов из сушилки С-1/5,6,
- автоматически останавливаются электродвигатели отжимной машины М-1/1,2, молотковой дробилки М-2/1,2, воздуходувки В-1/1,2.

Предусмотрена возможность открытия электрозадвижки Э-1/5,6 вручную (кнопка «Пуск» установлена около каждой электрозадвижки).

Предусмотрено дистанционное управление системой пожаротушения из операторной или по месту аварийным переключателем» [23].

«Давление пара в линии паротушения регистрируется прибором поз. 216.

При снижении давления пара на паротушение сушилки С-1/5,6  $\leq 7,0$  кгс/см<sup>2</sup> по шкале прибора поз. 216 выдаются звуковой и световой сигналы в операторной.

Индикация, регистрация, регулирование и ПАЗ технологических параметров осуществляются АСУТП» [11].

#### **1.4 Характеристика отходящих газов после сушки**

В «производствах мономеров и СК имеются организованные и неорганизованные выбросы вредных веществ в атмосферу. Пары вредных веществ выделяются в атмосферный воздух через неплотности во фланцевых

соединениях аппаратов, арматуры, трубопроводов, через уплотнения насосов, компрессоров и другого оборудования, установленного на наружных установках (неорганизованные выбросы в атмосферу)» [12]. Организованными источниками выбросов в атмосферу является общеобменная вентиляция и вытяжная вентиляция от агрегатов сушки каучуков. «Основными вредными веществами, содержащимися в выбросах в атмосферу, являются углеводороды (бутадиен, толуол, стирол, этилбензол, изопентан, изопрен, амилены, бутилены, бутан, пропан, этилен, изобутилен и другие), хлористый метил, метанол, диметилдиоксан, формальдегид, оксид углерода, оксид азота, неорганическая пыль.

Объем выбросов в атмосферу ароматических, олефиновых, парафиновых и диеновых углеводородов составляет около 80% общего объема валовых выбросов вредных веществ. Аварийные единовременные выбросы имеют место при разгерметизации технологического оборудования, срабатывании предохранительных клапанов и выброса вредных веществ в атмосферу или на факел, ручном стравливании» [2, 12] на факел. К аварийным относятся также выбросы от аварийной вентиляции. Доля залповых выбросов от годового объема выбросов вредных веществ мала и не оказывает заметного влияния на состояние атмосферы, но существенно влияет на степень отравления обслуживающего персонала.

«Прогнозирование выбросов вредных веществ в атмосферу, определение удельных выбросов являются необходимыми моментами при планировании, разработке, проектировании и строительстве различных установок для очистки отходящих газов, выбора и обоснования метода очистки.

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 обратной водой» [12].

## **2 Описание технологической схемы очистки отходящих газов**

### **2.1 Существующие способы очистки отходящих газов**

В настоящее время очистку отходящих газов промышленных производств осуществляют в основном методами адсорбции и абсорбции, каталитическим или термическим окислением, с помощью термического сжигания, часто комбинируют несколько методов с целью получения более высокой эффективности и экономической рентабельности [8].

«Количество комбинаций различных методов очистки и конструкций используемых аппаратов достаточно велико в силу большого разнообразия технологических процессов современных производственных отраслей.

Выбор того или иного способа утилизации отходов определяется в зависимости от критерия приемлемости для конкретной технологии и основывается на выполнении следующих основных условий» [14]:

- объем, концентрация и температура отходов должны соответствовать пределам использования выбранного метода, для исключения в технологической цепи затрат на осуществление «лишних» операций по концентрированию, подогреву или охлаждению отходящих газов;

- использование того или иного метода должно учитывать потенциальную рекуперацию отходов или напротив их утилизацию на последующих стадиях;

- при выборе конкретного метода обращения с отходящими газами необходимо учитывать экономическую целесообразность строительства аппаратов и линий очистки, а также текущую экологическую нагрузку промышленности на окружающую среду конкретного региона.

Сорбцию как метод очистки принято использовать в случаях предусматривающих возвращение извлекаемых примесей в производственный цикл, если же напротив, отходы представлены поликомпонентным составом, каждый компонент которых имеет малую

концентрацию, то более целесообразным является использование каталитического или термического метода очистки, так как большие объемы выбросов содержащие малую концентрацию вредных веществ делают использование сорбционных методов дорогостоящей процедурой предусматривающей использование металлоемких аппаратов, часто достаточно громоздких и сложных в обслуживании.

Каталитические методы очистки.

«Каталитический дожиг (окисление) углеводородов, содержащихся в отходящих газах, в основном применяют при больших объемах выбросов со сравнительно низкой концентрацией углеводородов» [4,5]. Метод достаточно популярен за рубежом [30-33].

В отечественной практике очистки производственных выбросов метод не находит широкого применения в силу многих факторов, обуславливающих его экономическую нецелесообразность [24]:

- высокая стоимость катализаторов с одновременно малым сроком их службы;

- высокая доля капитальных затрат на осуществление процесса очистки;

Целесообразность использования каталитического окисления как метода очистки отходящих газов обеспечивается невысокой концентрацией примесей, предварительным обеспылеванием выбросов, возможность рекуперации тепла отходящих газов и наличие для процесса эффективного и недорогого катализатора [26].

Рассматриваемый способ реализуется в аппаратах с адиабатическим слоем катализатора. Схема состоит из контактного аппарата и рекуперативного теплообменника, который необходим для нагревания исходной смеси выбросов теплом полученным в процессе каталитического окисления предыдущей порции выбросов.

Процесс очистки значительно зависит от наличия горючих газов в выбросах, так как при их малой концентрации требуется дополнительный источник тепла для проведения процесса и увеличение поверхности

теплообмена, что в свою очередь приводит к росту материалоемкости технологии и ее дороговизне.

После очистки в контактных аппаратах отходящие газы выбрасываются непосредственно в атмосферу.

Термические методы очистки.

Метод достаточно энергоемкий так как поддержание нужных температур при которых происходит сжигание компонентов выбросов требует значительных затрат высококалорийного топлива. Использование дожига как метода утилизации газообразных выбросов оправдано только в случае поликомпонентного состава отходов, их токсичности с условием, что содержащиеся в газе примеси не могут быть повторно возвращены в технологический производственный цикл.

«К преимуществам термического метода очистки отходящих газов относятся:

- отсутствие шламового хозяйства;
- небольшие габариты очистных установок;
- простота обслуживания (в ряде случаев полная автоматизация работы);
- высокая эффективность обезвреживания;
- возможность обезвреживания горючих выбросов сложного состава.

Метод дожига углеводородов получает все большее развитие. Накоплен опыт термического обезвреживания воздуха, содержащего примеси стирола, формальдегида, толуола, бутилацетата и других органических веществ. Степень окисления 99%» [25].

Многие отходящие газы характеризуются низким содержанием органических загрязнителей, а иногда пониженным содержанием кислорода. Такие выбросы нельзя рассматривать ни как топливо, ни как окислитель. В то же время они могут служить разбавителем как топлива, так и окислителя.

В каждом отдельном случае выбор схемы термического обезвреживания необходимо решать на основании материальных и тепловых балансов с учетом горючих свойств загрязнителей. Кроме того, учитываются расстояние между

источником выбросов и местом их обезвреживания, возможность и необходимость использования теплоты, образующейся при термическом обезвреживании, а также возможность обогащения (минимального или неограниченного) выбросов высококалорийным газом. «Иногда загрязненные вентиляционные выбросы используются в качестве окислителя или в смеси с полноценным окислителем в топках котлов, работающих на высококалорийном топливе» [23]. Чаще промышленные газовые выбросы сжигаются совместно с твердыми и жидкими отходами промышленных производств с целью снижения затрат.

«К недостаткам термического дожига относится его высокая энергоемкость при условии установки специального оборудования. В связи с этим проводятся исследования по разработке схем энерготехнологического использования воздуха» [11], объединяющие энергетические и технологические установки в один комплекс. По одной из таких схем отработанный в технологических агрегатах атмосферный воздух (в сушилках каучуков, реакторах окисления и т.д.) транспортируется к котлам, печам или другим топливосжигающим установкам и вторично используется в процессе горения.

«Абсорбционные методы очистки.

Абсорбционные методы очистки отходящих газов предпочтительнее в тех случаях, когда очистке подвергаются высококонцентрированные, монокомпонентные газовые потоки, когда не требуется очень полного извлечения компонента, когда экономически целесообразна рекуперация примесей или возвращение их в процесс» [5].

Промышленные схемы абсорбционной очистки можно разделить на две основные группы.

«В первой группе десорбция компонента не производится, поглотитель используется однократно. Схемы с однократным использованием поглотителя находят применение при очистке отходящих газов от вредных примесей в том случае, когда поглотитель дешевый, а извлеченный компонент не представляет ценности или получается в незначительных количествах» [6]. В

этом случае целесообразнее сбрасывать использованный поглотитель как отход или применять его для каких-либо целей, чем проводить десорбцию.

Ко второй группе относятся схемы с многократным использованием поглотителя, которые распространены значительно больше. Но они применяются в том случае, когда объемы выбросов невелики, концентрация абсорбируемого компонента в достаточной степени высокая и выделяемый десорбцией компонент может найти дальнейшее применение.

Для проведения процесса абсорбции в общих случаях необходимо:

- создание давления, предпочтительно 10-12 ат; охлаждение сорбента и исходной газовой смеси;
- нагрев в десорбере для выделения поглощенных углеводородов;
- при необходимости ректификация для выделения индивидуальных компонентов.

«В производстве СК отходящие после сушки каучука газы характеризуются большими объемами и малыми концентрациями вредных веществ, поэтому метод абсорбции для очистки отходящих газов широкого применения не нашел. Проводились исследования с целью определения возможности использования метода для очистки загрязненных газов производства каучуков СКН, газовые выбросы от нитрила акриловой кислоты (НАК) очищались методом абсорбции. Было установлено, что для достаточно эффективной очистки требуется большое количество воды, порядка 1960 м<sup>3</sup>/ч, что связано с очень низкой концентрацией НАК в газовых выбросах и ограниченной растворимостью НАК в воде. Поэтому метод абсорбции НАК водой не может быть рекомендован для использования в промышленности.

Известен процесс двухступенчатой абсорбционной очистки отходящих газов или воздуха от паров растворителей, в частности, ароматических и парафиновых углеводородов, а также кетонов. На первой ступени очистки загрязненный парами растворителя газ или воздух обрабатывают циркулирующим абсорбентом до извлечения основного количества растворителя. На второй ступени очистки при небольшом избыточном

давлении и использовании в качестве абсорбента керосина осуществляют окончательную очистку газа или воздуха. При наличии в отходящих газах кетонов на обеих ступенях очистки применяют абсорбент на основе спиртов» [7].

Абсорбционные методы очистки дорогостоящие, что вызвано большими затратами на эксплуатацию, аппаратуру и занимаемую производственную площадь, и редко применяются для очистки отходящих газов сложного состава вследствие больших затрат на ректификацию для выделения индивидуальных компонентов [15].

«Более экономичным процессом извлечения газообразных и летучих мономеров является способ обработки их при температуре от  $-10$  до  $+50$  °С и атмосферном давлении жидкостями, с которыми они вступают в реакцию. Для этого чаще всего используют сомомеры: стирол, сложные эфиры монокарбоновых кислот или общеизвестные растворители. Обработку ведут непосредственно в питающей емкости. При заполнении ее, например, стиролом давление газовой смеси возрастает, остаточный бутadiен поглощается, полученный раствор используют в качестве питания для последующей полимеризации» [15], [26].

Очистка отходящих газов от стирола абсорбцией органическим поглотителем диэтилбензолом характеризуется такими недостатками как необходимость создания отрицательных температур (ниже минус  $15^{\circ}\text{C}$ ) и возможность применения способа только в конкретном производстве анионитов, не требующем последующего разделения стирола и диэтилбензола.

Определенные преимущества по сравнению с абсорбционным методом имеет абсорбционно-полимеризационный способ очистки стиролсодержащих газов производства АБС- пластика [28]. Стирол, этилбензол и акрилонитрил абсорбируются полиметилсилоксановой жидкостью (ПМС). «Регенерацию последней осуществляют 80%-ной серной кислотой. Далее ПМС, кислота и

образовавшийся полимер разделяются отстаиванием. Избыток полимера выводится из системы» [20,22].

«Примерами очистки отходящих газов от вредных примесей абсорбционно-полимеризационным методом абсорбции может служить способ очистки отходящих газов от стирола (с содержанием стирола 100-200 мг/м<sup>3</sup>) с использованием в качестве абсорбента водного раствора 80-90%-ной серной кислоты. Степень очистки газа от стирола 100%» [27].

«Недостатком этого метода является то, что вследствие гигроскопичности серной кислоты ее концентрация с течением времени снижается и при этом резко ухудшается степень очистки газа. Поэтому указанный способ может применяться только для очистки сухих газов. Для обеспечения требуемой концентрации раствора кислоты необходимо удаление некоторого количества, разбавленного из-за поглощения водяных паров раствора с одновременной подпиткой концентрированной товарной кислоты (93%) или олеума. Удаляемые разбавленная кислота и кислота, содержащаяся в осадке, подлежат обезжириванию путем химической нейтрализации. В результате имеет место, повышенный расход вспомогательных реагентов и загрязнение окружающей среды продуктами реакции» [19].

Сущность рассматриваемой технологии состоит в том, что стиролсодержащие газы очищают абсорбцией, используя в качестве абсорбента водный раствор серной кислотой с температурой 110-130 °С.

Результатом реализации данной технологии является создание экологически чистого процесса и снижение удельного расхода серной кислоты при достижении степени очистки газов 100%. Процесс ведут при температуре серной кислоты 110-130 °С.

Отходящие стиролсодержащие газы с концентрацией до 800 мг/м<sup>3</sup> стирола с влажностью 0-100% направляют в абсорбционную колонну, предпочтительно с псевдооживленной шаровой насадкой, заполненной водным раствором серной кислоты с температурой 110-130 °С. Требуемая температура слоя может обеспечиваться как путем нагрева подаваемого

раствора кислоты, так и путем нагрева продуваемого воздуха. Стирол полимеризуется в плавающий на поверхности осадок. Осадок периодически или непрерывно удаляется из колонны, отмывается от кислоты водой и направляется на утилизацию. Промывные воды, содержащие разбавленную  $H_2SO_4$ , возвращаются в колонну» [6].

Адсорбционные методы очистки.

«Адсорбционные методы очистки отходящих газов применяются главным образом при небольших концентрациях поглощаемых веществ в исходной смеси.

Широкое распространение в промышленности СК нашла адсорбция полимерных и смолообразных продуктов, углеводов, органических веществ при помощи активированного угля, алюмогеля, алюмосиликата и силикагеля, цеолитов и других адсорбентов. Все эти адсорбенты обладают не очень высокой адсорбционной емкостью, что требует частой регенерации, а, следовательно, затрат энергии и решения задач переработки, отогнанных при десорбции и регенерации продуктов» [9].

Адсорбционные способы очистки «имеют следующие преимущества:

- сравнительно большая активность адсорбентов к органическим веществам при небольших концентрациях в промышленных выбросах, что позволяет обрабатывать относительно малым количеством сорбента огромные объемы газов и достигать при этом высокой степени очистки;
- относительно простая регенерация адсорбента при высокой степени очистки;
- возможность улавливания практически любых органических соединений и их возвращение в процесс;
- при очистке на твердом сорбенте отпадает опасность загрязнения технологического газа вторичными примесями;
- сравнительно небольшие эксплуатационные расходы при рекуперации растворителей;

- умеренные капитальные затраты на строительство установок обезвреживания.

К недостаткам адсорбционных методов можно отнести:

- полимеризацию мономеров на стадии регенерации активного угля водяным паром. С целью уменьшения или устранения полимеризации рекомендуется перед регенерацией обрабатывать уголь водой» [32], вводить в поры адсорбента ингибиторы [28, 29], применять восстановленный сорбент [31];

- периодичность процесса очистки;

- высокая стоимость регенерации адсорбентов и сравнительно низкая эффективность аппаратуры;

- снижение адсорбционной активности в процессе эксплуатации, особенно при очистке многокомпонентных смесей.

При рекуперации хлорсодержащих мономеров на стадии регенерации угля водяным паром наблюдается частичный гидролиз продуктов. Это вызывает коррозию аппаратуры и снижает качество получаемого рекуперата [16].

«Хлороводород отходящих газов производства алкил-бензолов извлекают ионитами, на смоле АВ-17 степень извлечения составляет 100%» [38]. Регенерацию ионита проводят щелочью.

«Сорбционные способы очистки, хотя и нашли применение в промышленности СК, тем не менее используются еще недостаточно. Решение задач ресурсосбережения требует применения отдельных технологических приемов по подготовке отходящих газов для очистки, в частности охлаждения, удаления избыточной влаги, методов очистки» [14].

Таким образом, среди всех возможных способов очистки отходящих газов, при проектировании систем газоочистки стоит руководствоваться в первую очередь показателями энергосбережения и минимального риска для окружающей среды. Термический способ очистки характеризуется высокими показателями, однако требует значительных энергозатрат в процессе

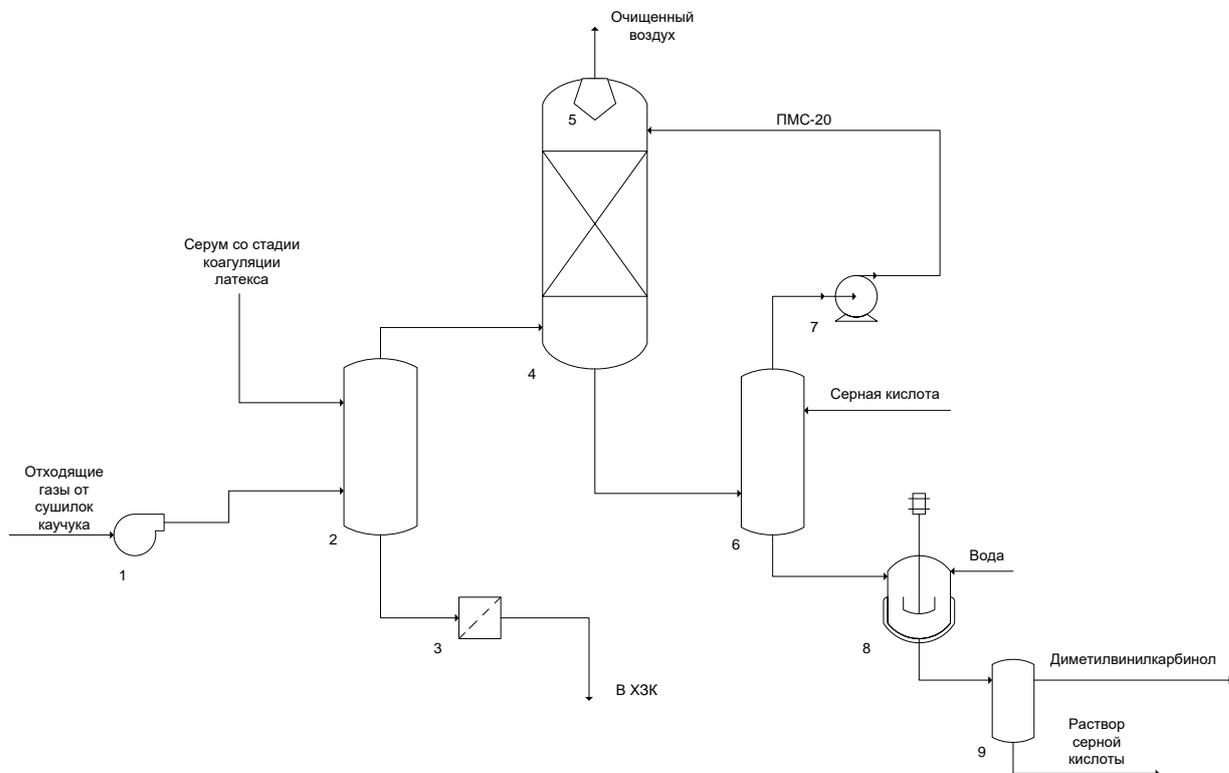
реализации, каталитическое окисление характеризуется высокими затратами, обусловленными высокой стоимостью катализаторов. Абсорбционный же метод очистки в данном случае является наиболее приемлемым, так как обеспечивает практически полную очистку отходящих газов (до 96%) от стирола и прочих примесей. «Абсорбционная система может быть простой, в которой жидкость применяется только один раз и удаляется из системы без отделения абсорбированного загрязнения. В другом варианте загрязнение отделяют от абсорбирующей жидкости, выделяя её в чистом виде. Затем абсорбент вновь подают на стадию абсорбции, снова регенерируют и возвращают в систему» [9].

## **2.2 Технологическая схема абсорбционной части блока газодиффузионного узла очистки воздушных выбросов производства СБСК от $\alpha$ -метилстирола**

Схема узла очистки отходящих газов приведена на рис. 2.1. Отходящий газ на предварительную очистку от пыли подается газодувкой 1 в нижнюю часть скруббера 2, орошаемого технологической жидкостью. После предварительной воздухоподготовки газ подается в нижнюю часть абсорбционной колонны 4 с псевдооживленной шаровой насадкой, где равномерно распределяется перед поступлением на контактный элемент (насадку). Абсорбент из экстрактора 6 насосом 7 подается в верхнюю часть колонны и равномерно распределяется по поперечному сечению абсорбера с помощью оросителя. В колонне осуществляется противоточное взаимодействие газа и жидкости. Очищенный газ, пройдя брызгоуловитель 5, выходит из колонны. Абсорбент, содержащий вредные вещества, регенерируется в полом экстракторе 6 при помощи раствора 80-85 %-ной серной кислоты. Содержащийся в абсорбенте  $\alpha$ -метилстирол реагирует с серной кислотой с образованием алкилсерной кислоты. Серная кислота из экстрактора 6 поступает в смеситель 8 для разбавления водой, при этом

алкилсерная кислота гидролизуется с образованием диметилвинилкарбинола, который отделяется от раствора серной кислоты в отстойнике 9.

Технологическая схема узла очистки отходящих газов приведена на рисунок 1.



1 - вентилятор (газодувка); 2 – скруббер; 3 – фильтр; 4 - абсорбер; 5 - брызгоуловитель; 6 – экстрактор; 7 – насос; 8 – смеситель; 9 – отстойник

Рисунок 1 - Схема абсорбционной установки

«Преимуществом данного способа перед известными является то, что при очистке отходящих газов от АМС увеличивается степень очистки, благодаря связыванию АМС при регенерации абсорбента. При очистке отходящих газов по предложенному способу отпадает необходимость в таких сложных и энергоемких операциях, как дистилляция или ректификация. Предложенный способ применим для очистки от АМС как сухих, так и влажных отходящих газов, так как наличие влаги при использовании абсорбента, практически не растворяющего воду, не сказывается на абсорбции АМС» [10], [21].

### 2.3 Устройство и принцип работы насадочного абсорбера

Насадочные абсорберы, представляющие собой колонные аппараты, заполненные слоем различных твердых тел, получили наибольшее распространение в промышленных производственных процессах.

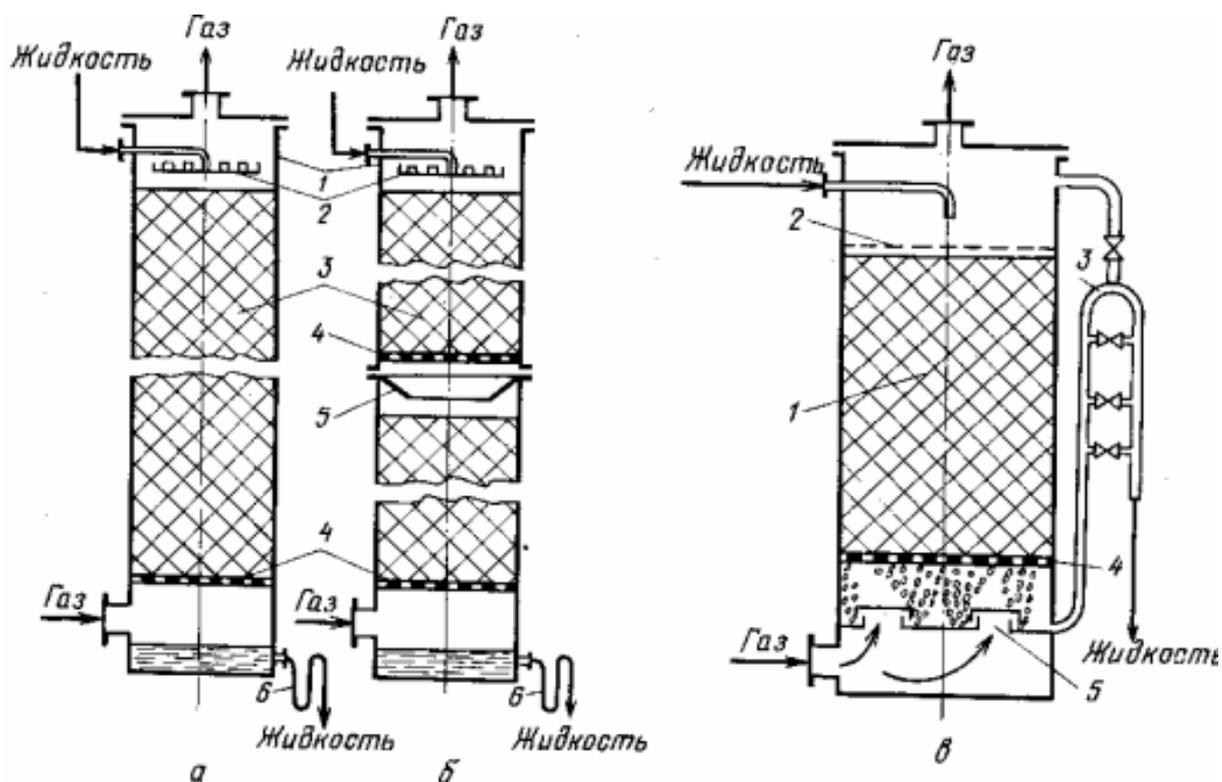
Пример насадочного абсорбера приведен на рис. 2.2. Насадка из выбранного материала и необходимой геометрии укладывается слоем на специальные решетки с отверстиями достаточными для прохождения очищаемой среды.

Равномерность орошения насадки обеспечивается за счет использования распылительных устройств 2. В силу того, что жидкость по насадке движется в основном в пленочном режиме абсорберы иногда относят к аппаратам пленочного типа, однако в отличие от пленочных аппаратов в которых движение среды происходит по длине всей колонны, в данном случае жидкость движется только в объеме насадки.

«В насадочных колоннах обеспечивается лучший контакт обрабатываемых газов с абсорбентом, чем в полых распылителях, благодаря чему уменьшаются габариты очистных устройств.

Но по всей высоте слоя насадки равномерного распределения жидкости по сечению колонны обычно не достигается, что объясняется пристеночным эффектом - большей плотностью укладки насадки в центральной части колонны, чем у ее стенок.

Поэтому часто насадку в колонну загружают секциями высотой в четыре-пять диаметров (но не более 3...4 метров в каждой секции), а между секциями (слоями насадки) устанавливают перераспределители жидкости 5 (рисунок 2, а, б), назначение которых состоит в направлении жидкости от периферии колонны к ее оси» [6].



«а - со сплошным слоем насадки; б - с секционной загрузкой насадки: 1 - корпус; 2 - распределитель жидкости; 3 - насадка; 4 - опорные решетки; 5 - перераспределитель жидкости; 6 - гидравлические затворы; в - эмульгационная насадочная колонна: 1 - насадка; 2 - сетка, фиксирующая насадку; 3 - гидравлический затвор; 4 - опорная решетка; 5 - распределитель газа» [15].

Рисунок 2 - Схемы насадочных абсорберов

«К основным характеристикам насадки относят ее удельную поверхность  $a$  ( $\text{м}^2/\text{м}^3$ ), свободное сечение  $s$  ( $\text{м}^2/\text{м}^2$ ), и свободный объем  $\varepsilon$  ( $\text{м}^3/\text{м}^3$ ). Обычно свободный объем  $\varepsilon$  определяют путем заполнения объема насадки водой. Отношение объема воды к объему, занимаемому насадкой, дает величину  $\varepsilon$ . Принимают, что свободное сечение насадки  $s$  равно по величине ее свободному объему, т. е.  $s=\varepsilon$ » [10].

Насадочные абсорберы могут работать в различных гидродинамических режимах.

Первый режим - пленочный - наблюдается при небольших плотностях орошения и малых скоростях газа. Количество задерживаемой в насадке жидкости при этом режиме практически не зависит от скорости газа.

Второй режим - режим подвисяния (или торможения). При противотоке фаз вследствие увеличения сил трения газа о жидкость на поверхности соприкосновения фаз происходит торможение жидкости газовым потоком. В результате этого скорость течения жидкости уменьшается, а толщина ее пленки и количество удерживаемой в насадке жидкости увеличиваются. В режиме подвисяния спокойное течение пленки нарушается: появляются завихрения, брызги. Все это способствует увеличению интенсивности массообмена.

«Третий режим - режим эмульгирования - возникает в результате накопления жидкости в свободном объеме насадки. Накопление жидкости происходит до тех пор, пока сила трения между стекающей жидкостью и поднимающимся по колонне газом не уравнивает силу тяжести жидкости, находящейся в насадке.

При этом наступает инверсия фаз (жидкость становится сплошной фазой, а газ - дисперсной). Режим эмульгирования начинается в самом узком сечении насадки. При работе колонны в таком режиме ее гидравлическое сопротивление относительно велико.

Наиболее эффективный гидродинамический режим в каждом конкретном случае можно установить только путем технико-экономического расчета.

Четвертый режим - режим уноса, или обращенного движения жидкости, выносимой из аппарата газовым потоком. Этот режим на практике не используется» [7].

Типы насадок.

На рисунках 3-5 приведены изображения наиболее часто используемых насадок, таких как кольца Рашига, представляющие собой полые трубки диаметр которых равен длине, кольца Палля и Бялецкого (рисунок 4) представленные трубками с вырезами различной геометрии, спирали Левина, кольца с перегородками различных типов и хорды комбинированного типа (рисунок 5).

В зависимости от необходимости и характеристик того или иного процесса насадка (рисунок 3) укладывается или хаотично навалом, или регулярно в строгой последовательности.



Рисунок 3 - Насадочные тела из нержавеющей стали



Рисунок 4 - Кольца Бялецкого



Рисунок 5 - Насадки из полипропилена

Среди выделяющих насадочные абсорберы качеств, одновременно являющихся их преимуществами при выборе того или иного типа аппарата можно выделить следующие:

- высокий КПД сорбции и возможность применения в агрессивных средах;
- производительность до нескольких сотен м<sup>3</sup>/час;
- широкий диапазон рабочих температур;
- селективность в отношении мелкодисперсных примесей и пылей;
- возможность последующей экстракции абсорбируемых примесей;
- возможность использования практически во всех сферах промышленности;
- сравнительная экономичность и доступность аппаратов;
- широкий модельный ряд типовых аппаратов.

### 3 Расчетное обоснование проектируемого узла очистки отходящих газов в абсорбере

#### 3.1 Исходные данные и обоснование технологического решения

Проектируемый узел очистки отходящих газов от  $\alpha$ -метилстирола, образующихся в процессе синтеза синтетического бутадиен-стирольного каучука, должен обеспечивать степень очистки 95% и более, при часовой производительности по уходящим газам в 110 тыс. м<sup>3</sup>/час (30,6 м<sup>3</sup>/с) (таблица б).

Таблица б - Содержание веществ в отработанном воздухе

Загрязняющее вещество	Концентрация или выброс загрязняющего вещества, мг/м <sup>3</sup>
аммиак	2
диоксид азота	0,2
оксид углерода	3
углеводороды C <sub>2</sub> -C <sub>5</sub>	0,98
альфа-метилстирол	150
толуол	0,2
пыль (тальк, смола)	150

Так как отходящие газы содержат значительное количество пыли, представленной частицами смолы и талька, то перед непосредственной абсорбционной очисткой проектируем узел очистки от пыли в скруббере, орошаемом технологической жидкостью. В качестве технологической жидкости применяем серум со стадии коагуляции латекса, избыток которого сбрасывается в химзагрязнённую канализацию. Эффективность очистки от пыли принимаем равной 95%. Наряду с очисткой от пыли обработка отходящих газов в скруббере позволит извлечь из них аммиак. Эффективность очистки от аммиака примем равной близкой к 100%.

После очистки отходящих газов от пыли обрабатываемый воздух подается на абсорбционную очистку от  $\alpha$ -метилстирола и других

углеводородов в насадочный абсорбер. В качестве абсорбента используем полиметилсилоксановую жидкость (ПМС-20) с плотностью 980 кг/м<sup>3</sup>.

Отработанный абсорбент непрерывно регенерируется серной кислотой в полом экстракторе. В экстракторе АМС реагирует с серной кислотой с образованием алкилсерной кислоты, которая в дальнейшем гидролизуется при разбавлении водой в смесителе с образованием диметилвинилкарбинола, который отделяется от раствора серной кислоты в отстойнике.

### 3.2 Расчет скруббера для очистки от пыли

#### 3.2.1 Материальный баланс

Для расчета материального баланса необходимы исходные данные, указанные в таблице 7 и указаны потоки в скруббере на рисунке 6.

Таблица 7 – Исходные данные

Показатель	Значения
Расход отходящих газов, м <sup>3</sup> /час	110000
Скорость газа по сечению аппарата, м/с	1,5
Расход поглощающей жидкости, м <sup>3</sup> / 10000 м <sup>3</sup> газа	1,3
Соотношение высота: диаметр скруббера	3:1
Степень очистки газа от пыли, %	95
Плотность ПМС-20, кг/ м <sup>3</sup>	980
Температура газов на входе в скруббер, °С	70

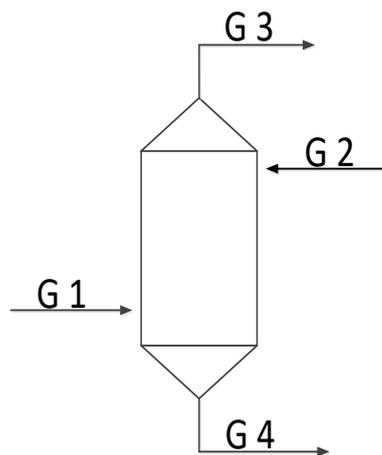
Количество очищаемого газа – 110000м<sup>3</sup>/ч;

Температура газов на входе в скруббер – 70<sup>0</sup>С;

Начальная концентрация пыли – 0,150 г/м<sup>3</sup>;

Плотность воздуха при 0<sup>0</sup>С=1,293 кг/м<sup>3</sup>;

Плотность воздуха при 70<sup>0</sup>С= $\frac{273}{273+70} \cdot 1,293 = 1,03$  кг/м<sup>3</sup>.



G1 - воздух на очистку;  
 G2 - вода на орошение;  
 G3 - воздух после очистки;  
 G4 - шлам очистки в ХЗК, через гидрозатвор.  $G1+G2=G3+G4$ .

Рисунок 6 - Схема материальных потоков скруббера

Рассчитаем массу газа на входе в скруббер:

$$M_{\Gamma} = V \cdot \rho_{\Gamma}; \quad (1)$$

где  $V$  – объём газа  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;

$\rho_{\Gamma}$  – плотность газа  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

$$M_{\Gamma} = 110000 \cdot 1,029 = 113190 \text{ кг/ч.}$$

Масса воды на орошение равна:

$$M_{\text{в}} = V \cdot \rho_{\text{в}}; \quad (2)$$

где  $V$  – объём воды  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;

$\rho_{\text{в}}$  – плотность воды  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

$$M_{\text{в}} = 14,4 \cdot 1000 = 14400 \text{ кг/ч.}$$

Определим массовый расход пыли:

$$G_{\text{п}} = M_{\Gamma} \cdot C; \quad (3)$$

где  $C$  – концентрация  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;

$$G_{\Pi} = 113190 \cdot 0,15 \cdot 10^{-3} = 16,5 \text{ кг/ч.}$$

Находим массу  $\alpha$  – метилстирола по формуле [3];

$$M_{C_9H_{10}} = 113190 \cdot 0,15 \cdot 10^{-3} = 16,5 \text{ кг/ч;}$$

Находим массу оксида углерода по формуле [3];

$$M_{CO} = 113190 \cdot 3 \cdot 10^{-6} = 0,34 \text{ кг/ч.}$$

Находим массу аммиака по формуле [3];

$$M_{NH_3} = 113190 \cdot 2 \cdot 10^{-6} = 0,23 \text{ кг/ч.}$$

Находим массу диоксида азота по формуле [3];

$$M_{NO_2} = 113190 \cdot 2 \cdot 10^{-7} = 0,023 \text{ кг/ч.}$$

Находим массу углеводородов C2 - C5 по формуле [3];

$$M_{C_2-C_5} = 113190 \cdot 9,8 \cdot 10^{-7} = 0,11 \text{ кг/ч.}$$

Находим массу толуола по формуле [3];

$$M_{C_7H_8} = 113190 \cdot 2 \cdot 10^{-7} = 0,02 \text{ кг/ч.}$$

Механический унос воды составляет 3%;

$$14400 \cdot 0,03 = 432 \text{ кг/ч.}$$

Масса влажного воздуха равна:

$$113190 + 432 = 113622 \text{ кг/ч.}$$

Масса веществ в шламе газоочистки:

$$M_B = G_x \cdot 0,95; \quad (4)$$

где  $G_x$  – концентрация веществ кг/м<sup>3</sup>;

0,95 – степень очистки от пыли, %.

Масса пыли в шламе равна:

$$M_{\Pi} = 16,5 \cdot 0,95 = 15,68 \text{ кг/ч.}$$

Масса аммиака в шламе равна:

$$M_{\Pi} = 0,23 \cdot 1 = 0,23 \text{ кг/ч.}$$

Все данные материального баланса газоочистки в скруббере указаны в таблице 8.

Таблица 8 – Материальный баланс газоочистки в скруббере

Приход			Расход		
Поток	Кг/ч	%	Поток	Кг/ч	%
Газы на очистку, в том числе:	113190	100	Газ на абсорбцию, в том числе:	113606,09	100
1.1 Воздух	113156,28	99,9	1.1 Воздух	113156,28	99,6
1.2 Пыль	16,5	0,015	1.2 Пыль	0,82	0,0007
1.3 α – метилстирол	16,5	0,015	1.3 α – метилстирол	16,5	0,005
1.4 оксида углерода	0,34	0,0003	1.4 оксида углерода	0,34	0,0003
1.5 аммиак	0,23	0,0002	1.5 аммиак	0	0,0

Продолжение таблицы 8

1.7 Оксид азота	0,02	0,0000017	1.7 Оксид азота	0,02	0,0000017
1.8 углеводороды C2-C5	0,11	0,00009	1.8 углеводороды C2-C5	0,11	0,00009
1.9 Тoluол	0,02	0,0000017	1.9 Тoluол	0,02	0,0000017
-	-	-	1.10 Вода	432	0,38
2 Вода	14400	100	2 Вода	-	-
-	-	-	2.1 Вода	13968	99,8
-	-	-	2.2 Пыль	15,68	0,11
-	-	-	2.3 Аммиак	0,23	0,0016
Всего:	127590		Всего:	127590	

Технологический расчет скруббера сводится к определению геометрических размеров аппарата, массы улавливаемой пыли и расхода технологической жидкости для улавливания рассматриваемой примеси [18].

Принимаем скорость движения отходящего газа в аппарате ( $v$ ) – 1,8 м/с, тогда расчетное значение площади поперечного сечения аппарата равно:

$$S_{\text{ск}} = \frac{Q_{\text{от.газ}}}{v} = \frac{110000}{1,8 \cdot 3600} = 16,98 \text{ м}^2$$

Находим диаметр аппарата:

$$D = \sqrt{\frac{4S}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 16,98}{3,14}} = 4,65 \text{ м} \quad (5)$$

Соотношение высоты и диаметра аппарата принимаем равным 3:1, следовательно, высота аппарата составит:

$$H = 3 \cdot 4,65 = 13,95 \text{ м}$$

Исходя из производственных данных и практического опыта использования скрубберов, принимаем расход поглотителя равен 1,3 м<sup>3</sup> на

10000 м<sup>3</sup> очищаемого газа, тогда необходимый секундный расход поглотителя составит:

$$Q_{\text{погл}} = \frac{110000 * 1,3}{3600 * 10000} = 0,004 \text{ м}^3/\text{с}$$

Часовой расход поглотителя – 14,4 м<sup>3</sup>/час.

Масса улавливаемой пыли определяется по формуле:

$$m = c * Q_{\Gamma} * \eta = 150 * 10^{-3} * 110000 * 0,95 = 4,35 \text{ г/с}$$

Концентрация пыли в поглотителе будет равна:

$$C = \frac{m}{Q_{\text{погл}}} = \frac{4,35}{0,004} = 1087,5 \text{ г/м}^3$$

Концентрация пыли в отходящих газах после скруббера составит:

$$c_{\text{пыли}} = c_{\text{н}} - c_{\text{н}}\eta = 150 * 10^{-3} - 0,95 * 150 * 10^{-3} = 0,0075 \text{ г/м}^3$$

После очистки от пыли очищенный газ отправляется в насадочный абсорбер для очистки от АМС.

### 3.3 Технологический и гидравлический расчет насадочного абсорбера

#### 3.3.1 Исходные данные для расчета

Производительность установки по отработанному воздуху 110000 м<sup>3</sup>/ч (30,6 м<sup>3</sup>/с), содержание веществ в отработанном воздухе (таблица 9):

Таблица 9 – Содержание веществ в отработанном воздухе после скруббера

Загрязняющее вещество	Концентрация или выброс загрязняющего вещества, мг/м <sup>3</sup>
диоксид азота	0,2
оксид углерода	3
углеводороды C <sub>2</sub> -C <sub>5</sub>	0,98
альфа-метилстирол	150
толуол	0,2
пыль (тальк, смола)	7,5

Расчет ведем по целевому компоненту –  $\alpha$ -метилстиролу. Степень очистки принимаем равной 98 %.

В данном случае процесс абсорбции представляет собой сложный процесс многокомпонентной абсорбции, когда из отходящих газов одновременно поглощаются смесь компонентов –  $\alpha$ -метилстирол, толуол, другие углеводороды. Инертная часть отходящих газов представлена также многими компонентами – диоксид азота, оксид углерода и др. поэтому для упрощения расчетов будем рассматривать газовую смесь и поглотитель как бинарные системы.

#### 3.3.2 Материальный баланс

«Массу  $\alpha$ -метилстирола, переходящего в процессе абсорбции из газовой смеси в поглотитель за единицу времени, находим из уравнения материального баланса:

$$M = G(\bar{Y}_H - \bar{Y}_K) = L(\bar{X}_K - \bar{X}_H) \quad (6)$$

где  $L, G$  – расходы соответственно чистого поглотителя и инертной части газа, кг/с» [9];

$\bar{X}_K, \bar{X}_H$  – конечная и начальная концентрации АМС в полиметилсилоксановой жидкости, кг АМС/ кг К;

« $\bar{Y}_H, \bar{Y}_K$  – начальная и конечные концентрации АМС в газе, кг АМС/ кг Г.

Пересчитаем концентрации и нагрузки по фазам для получения выбранной для расчета размерности:

$$\bar{Y}_H = \frac{y_H}{\rho_{0y} - y_H} \quad \bar{X}_H = \frac{x_H}{100 - x_H} \quad (7)$$

где  $\rho_{0y}$  – средняя плотность отходящего газа при нормальных условиях (1,293 кг/м<sup>3</sup>)» [9].

$$\bar{Y}_H = \frac{0,15 \cdot 10^{-3}}{1,029 - 0,15 \cdot 10^{-3}} = 0,146 \cdot 10^{-3} \text{ кг АМС/кг Г}$$

$$\bar{Y}_K = 0,146 \cdot 10^{-3} (1 - 0,98) = 0,29 \cdot 10^{-5} \text{ кг АМС/кг Г}$$

$$\bar{X}_H = 0 \text{ кг АМС/кг Г}$$

Конечная концентрация  $\alpha$ -метилстирола в ПМС-20  $\bar{X}_K$  обуславливает его расход, который, в свою очередь, влияет на размеры абсорбера и часть энергетических затрат, связанных с перекачиванием жидкости и ее регенерацией. Поэтому  $\bar{X}_K$  выбирают, исходя из оптимального расхода поглотителя» [9].

$$M = L_{min}(\bar{X}_K^* - \bar{X}_H) = 1.5 L_{min}(X_K - \bar{X}_H) \quad (8)$$

Отсюда;

$$\bar{X}_K = \frac{\bar{X}_K^* + 0.5 \bar{X}_H}{1.5} \quad (9)$$

где  $\bar{X}_{\bar{Y}_H}^*$  – концентрация АМС в «жидкости, равновесная с концентрацией его в газе.

$$\bar{X}_K = \frac{0.073 \cdot 10^{-3}}{1.5} = 0.0486 \cdot 10^{-3} \text{ кг АМС/кг Ж}$$

Расход инертной части газа:

$$G = V_0(1 - y_{об})(\rho_{0y} - y_H) \text{ кг/с}, \quad (10)$$

где  $y_{об}$  – объемная доля АМС в газе, равная

$$y_{об} = \frac{y_H}{M_{АМС}} v_0, \text{ м}^3 \text{ АМС/м}^3 \text{ Г} (v_0 = 22,4) \quad (11)$$

$$y_{об} = \frac{0,15 \cdot 10^{-3}}{118,179} 22,4 = 2,843 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3 \text{ АМС/м}^3 \text{ Г}$$

$$G = 30,6(1 - 2,843 \cdot 10^{-5})(1,029 - 0,15 \cdot 10^{-3}) = 31,49 \text{ кг/с}$$

Производительность абсорбера по поглощаемому компоненту:

$$M = G(\bar{Y}_H - \bar{Y}_K) = 31,49(0,146 \cdot 10^{-3} - 0,29 \cdot 10^{-5}) = 0,0045 \text{ кг/с}$$

Расход поглотителя (ПМС-20) равен:

$$L = \frac{M}{(\bar{X}_K - \bar{X}_H)} = \frac{0.0045}{(0.000049 - 0)} = 91,83 \text{ кг/с} \quad (12)$$

Тогда соотношение расходов фаз, или удельный расход поглотителя равен (таблица 10):

$$l = \frac{L}{G} = \frac{91,83}{31,49} = 2,92 \text{ кг/кг} \gg [9]. \quad (13)$$

Таблица 10 – Материальный баланс газоочистки в абсорбере

Приход				Расход			
	Поток	Кг/ч	%		Поток	Кг/ч	%
1	Газы на абсорбцию, в том числе:	113606,09	100	1	Сбрасываемые газы, в том числе:	113589,07	100
1.1	Воздух	113156,25	99,6	1.1	Воздух	113156,25	99,6
1.2	Пыль	0,85	0,0007	1.2	Пыль	0	0
1.3	$\alpha$ – метилстирол	16,5	0,015	1.3	$\alpha$ – метилстирол	0,33	0,0003
1.4	Оксид углерода	0,34	0,0003	1.4	Оксид углерода	0,34	0,0003
1.5	Оксид азота	0,02	0,0000017	1.5	Оксид азота	0,02	0,0000017
1.6	углеводороды C2-C5	0,11	0,00009	1.6	углеводороды C2-C5	0,11	0,00009
1.7	Толуол	0,02	0,000001	1.7	Толуол	0,02	0,0000017
1.8	Вода	432	0,38	1.8	Вода	432	0,38
2	Циркулирующий абсорбент, в том числе:	330588,19	100	2	Циркулирующий абсорбент, в том числе:	330605,21	100
2.1	ПМС-20	330588	99,9	2.1	ПМС-20	330588	99,9
2.2	углеводороды C2-C5	0,16	0,00005	2.2	$\alpha$ – метилстирол	16,17	0,005
2.3	Толуол	0,03	0,000009	2.3	Пыль	0,85	0,00026
-	-	-	-	2.4	углеводороды C2-C5	0,16	0,00005
-	-	-	-	2.5	Толуол	0,03	0,000009
-	-	-	-	-	-	-	-
	Всего:	444194,28			Всего:	444194,28	

### 3.3.3 Расчет движущей силы

«В насадочном абсорбере жидкая и газовая фазы движутся противотоком. Принимая модель идеального вытеснения, движущую силу определяют по формуле:

$$\Delta \bar{Y}_{\text{ср}} = \frac{\Delta \bar{Y}_G - \Delta \bar{Y}_M}{2,3 \lg(\Delta \bar{Y}_G / \Delta \bar{Y}_M)} \quad (14)$$

где  $\Delta \bar{Y}_G$  и  $\Delta \bar{Y}_M$  – большая и меньшая движущие силы на входе потоков в абсорбер и на выходе из него, кг» [9] АМС/кг Г.

Так как  $\Delta\bar{Y}_6 = \bar{Y}_H - \bar{X}_{\bar{Y}_K}^*$  и  $\Delta\bar{Y}_M = \bar{Y}_K - \bar{X}_{\bar{Y}_H}^*$

где  $\bar{X}_{\bar{Y}_K}^*$  и  $\bar{X}_{\bar{Y}_H}^*$  – концентрации АМС в «газе, равновесные с концентрациями в жидкой фазе (поглотителе) соответственно на входе в абсорбер и на выходе из него.

$$\bar{X}_{\bar{Y}_H}^* = \bar{X}_H \text{ и } \bar{X}_{\bar{Y}_K}^* = \bar{X}_K \gg [9]$$

$$\Delta\bar{Y}_6 = 0,146 \cdot 10^{-3} - 0,098 \cdot 10^{-3} = 0,048 \cdot 10^{-3} \text{ кг АМС/кг Г}$$

$$\Delta\bar{Y}_M = 0,71 \cdot 10^{-5} - 0 = 0,0071 \cdot 10^{-3} \text{ кг АМС/ кг Г}$$

$$\Delta\bar{Y}_{\text{ср}} = \frac{0,048 \cdot 10^{-3} - 0,0071 \cdot 10^{-3}}{\ln \frac{0,048 \cdot 10^{-3}}{0,0071 \cdot 10^{-3}}} = \frac{0,0409 \cdot 10^{-3}}{1,91} = 0,021 \cdot 10^{-3} \text{ кг АМС/кг Г} \gg [9].$$

### 3.3.4 Расчет коэффициента массопередачи

«Коэффициент массопередачи  $K_y$  находят по уравнению аддитивности фазовых диффузионных сопротивлений:

$$K_y = \frac{1}{\frac{1}{\beta_y} + \frac{m}{\beta_x}} \quad (15)$$

где  $\beta_x$  и  $\beta_y$  – коэффициенты массоотдачи соответственно в жидкой и газовой фазах, кг/(м<sup>2</sup>.с);

$m$  – коэффициент распределения, кг К/кг Г,  $m=2$  (кг Ж/кг Г)

Для расчета коэффициентов массоотдачи необходимо выбрать тип насадки и рассчитать скорость потоков в абсорбере.

Принимаем насыпную плотность шаровой насадки  $\rho=250$  кг/м<sup>3</sup>; порозность неподвижного слоя сухой насадки  $\epsilon_b=0,4$ ; диаметр элементов насадки  $D_{\text{нас}}=0,02$  м; высоту неподвижного слоя м, от (5...8)  $D_{\text{нас}} - 0,16$ м» [9].

### 3.3.5 Расчет скорости газа и диаметра абсорбера

«Предельную скорость газа в насадочных абсорберах можно рассчитать по уравнению:

$$\lg \left[ \frac{w_{\text{пр}}^2 \rho_y}{g d_{\text{э}}^3 \rho_x} \left( \frac{\mu_x}{\mu_B} \right)^{0.16} \right] = A - B(L/G)^{1/4} \left( \frac{\rho_y}{\rho_x} \right)^{1/8} \quad (16)$$

где  $W_{\text{пр}}$  – предельная фиктивная скорость газа, м/с;  $\mu_x, \mu_B$  – вязкость соответственно поглотителя и воды при 20 °С; ( $\mu_x/\mu_B=10,7$ );  $A, B$  – коэффициенты, зависящие от типа насадки.

Пересчитаем плотность газа на условия в абсорбере:

$$\rho_y = \rho_{0y} \frac{T_0}{T_0+t} * \frac{P}{P_0} = 1.293 \frac{273}{273+70} \frac{0.1}{0.1} = 1.029 \text{ кг/м}^3$$

Находим предельную скорость  $W_{\text{пр}}$

$$\lg \left[ \frac{w_{\text{пр}}^2 * 300 * 1,029}{9,81 * 0,064 * 980} (10,7)^{0.16} \right] = -0,57 - 1,04(1,47)^{1/4}(0,00105)^{1/8}$$

$$\lg[w_{\text{пр}}^2 * 0,733] = -1,056$$

$$w_{\text{пр}} = 3,5 \text{ м/с}$$

Выбор рабочей скорости газа обусловлен многими факторами. В общем случае ее находят путем технико-экономического расчета для каждого конкретного процесса. С учетом этого рабочую скорость  $w$  принимают равной 0.2-0.5 от предельной.

$$w = 0.5w_{\text{пр}} = 0,5 * 3,5 = 1,75 \text{ м/с}$$

Диаметр абсорбера находят из уравнения расхода [19]:

$$d = \sqrt{\frac{4V_0}{\pi w}} = \sqrt{\frac{4V_0 \frac{T_0+t}{T_0} \frac{P_0}{P}}{\pi w}} \quad (17)$$

где  $V$  – объемный расход газа при условиях в абсорбере,  $\text{м}^3/\text{с}$ .

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 30,6}{3,14 \cdot 1,75}} = 4,72 \text{ м}$$

Выбираем стандартный диаметр обечайки абсорбера в химической промышленности  $d=5,0$  м.

$$w = \frac{4 \cdot 30,6}{3,14 \cdot 5,0^2} = 1,56 \text{ м/с} \gg [9].$$

### 3.3.6 Определение плотности орошения и активной поверхности насадки

Плотность орошения (скорость жидкости) рассчитывают по формуле

$$U = \frac{L}{\rho_x S} \text{ м}^3/(\text{м}^2 \text{ с}) \quad (18)$$

$$U = \frac{91,83}{980 \cdot 19,625} = 0,0048 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \text{ с}).$$

«Для насадочных абсорберов минимальную эффективную плотность орошения  $U_{\min}$  находят по соотношению:

$$U_{\min} = a \Gamma_{\min} / \rho_x \quad (19)$$

где  $\Gamma_{\min}$  – минимальная линейная плотность орошения,  $\text{кг}/(\text{м} \cdot \text{с})$ ;

$q_{\text{эф}}$  – эффективная линейная плотность орошения.

$a$  – активная поверхность насадки,  $\text{м}^2$ ;

$$\psi_a = 1,029 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{с}$$

Таким образом, не вся смоченная поверхность является активной. Наибольшая активная поверхность насадки достигается при таком способе подачи орошения, который обеспечивает требуемое число точек орошения  $n$  на  $1 \text{ м}^2$  поперечного сечения колонны. Это число точек орошения определяет выбор типа распределительного устройства» [9].

### 3.3.7 Расчет коэффициентов массоотдачи

Для регулярных насадок, коэффициент массоотдачи в газовой фазе  $\beta_y$  находят из уравнения:

$$Nu'_y = 0.167 Re_y^{0.74} Pr'_y{}^{0.33} \left( \frac{l}{d_3} \right)^{-0.47} \quad (20)$$

где  $Nu' = \frac{\beta_y d_3}{D_y}$  – диффузионный критерий Нуссельта для газовой фазы.

Отсюда  $\beta_y$  (в м/с) равен:

$$\beta_y = 0.167 \frac{D_y}{d_y} Re_y^{0.74} Pr'_y{}^{0.33} \left( \frac{l}{d_3} \right)^{-0.47} \quad (21)$$

где  $D_y$  – коэффициент диффузии углеводородов в газовой фазе,  $\text{м}^2/\text{с}$ ;

$$Re_y = \frac{w d_3 \rho_y}{\varepsilon \mu_y} = 4827,9 - \text{критерий Рейнольдса для газовой фазы в}$$

насадке;

$$Pr'_y = \frac{\mu_y}{\rho_y D_y} = 2,74 - \text{диффузионный критерий Прандтля для газовой}$$

фазы;

$\mu_y$  – вязкость газа, Па.с;

$l$  – высота элемента насадки, м.

Коэффициент диффузии углеводородов в газе можно рассчитать по уравнению [9]:

$$D_y = \frac{4.3 \cdot 10^{-8} T^{3/2}}{P(v_{\text{АМС}}^{1/3} + v_{\Gamma}^{1/3})^2} \sqrt{\frac{1}{M_{\text{АМС}}} + \frac{1}{M_{\Gamma}}} \quad (22)$$

где  $M_{\text{АМС}}$ ,  $M_{\Gamma}$  – мольные массы соответственно АМС углеводородов и отходящего газа, (118,179 и 29 кг/моль);

$$D_y = \frac{4.3 \cdot 10^{-8} \cdot 343^{3/2}}{0.1((155.2)^{1/3} + (29.9)^{1/3})^2} \sqrt{\frac{1}{118.179} + \frac{1}{29}} = 6.73 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

$$\beta_y = 0.167 \frac{6.73 \cdot 10^{-6}}{0.02} (4827.9)^{0.74} (2.74)^{0.33} \left(\frac{0.02}{0.02}\right)^{-0.47} = 0.0417 \text{ м/с}$$

«Выразим  $\beta_y$  в размерности кг/(м<sup>2</sup>·с):

$$\beta_y = 0.0417(1.029 - 0,15 \cdot 10^{-3}) = 0.0429 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$$

Коэффициент массоотдачи в жидкой фазе  $\beta_x$  находят из обобщенного уравнения состояния, пригодного как для регулярных (в том числе и хордовых), так и для неупорядоченных насадок:

$$Nu'_x = 0.0021 Re_x^{0.75} Pr'_x{}^{0.5} \quad (23)$$

где  $Nu_x = \frac{\beta_x \delta_{\text{пр}}}{D_x}$  – диффузионный критерий Нуссельта для жидкой фазы.

Отсюда  $\beta_x$  (в м/с) равен:

$$\beta_x = 0.0021 \frac{D_x}{\delta_{\text{пр}}} Re_x^{0.75} Pr'_x{}^{0.5} \quad (24)$$

где  $D_x$  – коэффициент диффузии углеводородов в кислоте, м<sup>2</sup>/с;

$\delta_{\text{пр}} = \left(\frac{\mu_x^2}{\rho_x^2 g}\right)^{1/3}$  – приведенная толщина стекающей пленки жидкости,

м;

$Re_x = \frac{4U\rho_x}{a\mu_x}$  - модифицированный критерий Рейнольдса для стекающей по насадке пленки жидкости;

$Pr'_x = \mu_x/\rho_x D_x$  - диффузионный критерий Прандтля для жидкости.

$$\delta_{пр} = \left( \frac{(10.7 * 10^{-3})^2}{9.81 * 980} \right)^{1/3} = 2.28 * 10^{-3}$$

$$Re_x = \frac{4 * 0.0048 * 980}{300 * 10.7 * 10^{-3}} = 5.86$$

В разбавленных растворах коэффициент диффузии  $D_x$  может быть достаточно точно вычислен по уравнению:

$$D_x = 7.4 * 10^{-12} \frac{(\beta M)^{0.5} T}{\mu_x v_{АМС}^{0.6}} \quad (25)$$

где  $M$  – мольная масса поглотителя» [9].

$T$  – температура поглотителя, К;

$\mu_x$  – вязкость поглотителя, мПа.с;

$v_{АМС}$  – мольный объем АМС, см<sup>3</sup>/моль;

$\beta$  – параметр, учитывающий ассоциацию молекул ( $\beta=1$ ).

$$D_x = 7.4 * 10^{-12} \frac{(1*416)^{0.5} 343}{10.7 * (96 * 10^{-6})^{0.6}} = 1,245 * 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

$$Pr'_x = 10.7 * 10^{-3} / (980 * 1,245 * 10^{-6}) = 8,77$$

$$\beta_x = 0.0021 \frac{1,245 * 10^{-6}}{2.28 * 10^{-3}} * (5.86)^{0.75} (8,77)^{0.5} = 0,0000128 \text{ м/с}$$

«Выразим  $\beta_x$  в размерности кг/(м<sup>2</sup>·с):

$$\beta_x = 0,0000128(980 - 0.233) = 0,0125 \text{ кг/(м}^2\cdot\text{с)}$$

Находим коэффициент массопередачи по газовой фазе  $K_y$  по уравнению:

$$K_y = \frac{1}{\frac{1}{0,0429} + \frac{2}{0,0125}} = 5,46 * 10^{-3} \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с}) \text{ [9]}.$$

### 3.3.8 Определение поверхности массопередачи и высоты аппарата

«Поверхность массопередачи в абсорбере находим по уравнению:

$$F = \frac{0.0045}{5.46 * 10^{-3} * 0.000021} = 3.925 * 10^4$$

Высоту насадки, требуемую для создания этой поверхности массопередачи, рассчитаем по формуле:

$$H = \frac{F}{0.785ad^2\psi_a} = \frac{3,925*10^4}{0.785*300*25.0*1.029} = 6,5 \text{ м}$$

Обычно высота скрубберов не превышает 40-50 м, поэтому для осуществления заданного процесса выберем» [9] 1 аппарат с высотой насадки, равной 6,5 м.

### 3.3.9 Расчет гидравлического сопротивления проектируемого абсорбера

«Необходимость расчета гидравлического сопротивления  $\Delta P$  обусловлена тем, что оно определяет энергетические затраты на транспортировку газового потока через абсорбер. Величину  $\Delta P$  находят по формуле:

$$\Delta P = \Delta P_c 10^{bU} \quad (26)$$

где  $\Delta P_c$  – гидравлическое сопротивление сухой (неорошаемой жидкостью) насадки, Па;

$U$  – плотность орошения,  $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ ;

$b$  – коэффициент, равный 30» [9].

Гидравлическое сопротивление сухой насадки  $\Delta P_c$  определяют по уравнению:

$$\Delta P_c = \lambda \frac{H}{d_3} * \frac{w_0^2}{2} \rho_y \quad (27)$$

где  $\lambda$  – коэффициент сопротивления шаровой насадки:

$$\lambda = \frac{133}{Re_y} + 2,34 = \frac{133}{4827.9} + 2.34 = 2.37$$

$w_0$  – скорость газа в свободном сечении насадки (в м/с);

$$w_0 = \frac{w}{\varepsilon} = \frac{1,56}{0.35} = 4,46 \text{ м/с}$$

$$\Delta P_c = 2,37 * \frac{6,5}{0,02} * \frac{4,46^2}{2} * 1,029 = 7882,9 \text{ Па}$$

$$\Delta P = 7882,9 * 10^{30*0,0048} = 10982,1 \text{ Па}$$

Анализ результатов расчета насадочного абсорбера показывает, что основное диффузионное сопротивление массопереносу в этом процессе сосредоточено в жидкой фазе, поэтому можно интенсифицировать процесс абсорбции, увеличив скорость жидкости.

### **3.4 Прочностной расчет узла очистки**

#### **3.4.1 Обоснование выбора материала корпуса аппарата**

Конструктивные материалы, используемые для изготовления аппаратов в химической промышленности следует выбирать исходя из условий его работы и среды, которая обрабатывается в аппарате.

Максимальная температура процесса абсорбции уходящих газов в производстве синтетического каучука составляет 70°C, обрабатываемая среда

характеризуется наличием примесей различной природы, абсорбент представлен органической жидкостью.

Все используемые в машиностроении стали в данных условиях имеют низкие показатели коррозионной стойкости, следовательно, использование дорогих сплавов нецелесообразно в экономическом отношении. Для элементов колонны таких как обечайка, опоры, днища и др с целью снижения капиталовложений используем сталь марки ВСт-3пс4 и покрытием поливинилхлоридным лаком, который широко используется в машиностроительной отрасли и имеет хорошие показатели свариваемости.

«Материал заготовок или готовые крепежные изделия должны быть термообработаны. Сопрягаемые гайки и болты (шпильки) должны изготавливаться из разных по твердости материалов, при этом предпочтительно более твердыми принимать болты (шпильки). Материалом крепежных деталей выбираем Сталь 20.

Твердость по Бринелю НВ, не более:

Для болтов (шпилек) НВ=207

Для гаек НВ=143.

Сварка прямолинейных и кольцевых швов обечайки и опоры выполняется автоматическим способом под флюсом.

Материал для сварки стали ВСт-3пс4:

Марка проволоки СВ-08ГА

Марка флюса АН-346А.

Наиболее целесообразным методом уплотнения разъемных соединений в разборных аппаратах является уплотнение прокладками. Применение прокладок требует меньших усилий обжатия и позволяет обеспечить герметичность соединения, смежные поверхности которого обработаны с меньшей точностью и более низкой частотой, чем это необходимо для обеспечения герметичности при контакте без прокладки» [21].

### 3.4.2 Определение толщины стенки элементов корпуса аппарата и допускаемого внутреннего давления

Расчетная температура стенки  $t$  определяется на основании результатов испытания или тепловых расчетов. В случае невозможности проведения расчетов и испытаний при положительных температурах рассчитывается по формуле:

$$t = \max (t_c; 20 \text{ } ^\circ\text{C}), \quad (28)$$

где  $t_c$  - наибольшая температура среды.

По формуле (28):

$$t = \max (70 \text{ } ^\circ\text{C}; 20 \text{ } ^\circ\text{C});$$

$$t = 70 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Расчетное давление

1. На аппарат действует внутреннее избыточное давление.

В этом случае:

$$P_1 = 1,1 - 0,1 = 1 \text{ МПа}.$$

2. На аппарат действует внешнее давление.

В этом случае:

$$P_2 = 0,1 - 0,015 = 0,085 \text{ МПа}.$$

Пробное давление

Согласно [7], пробное давление для вертикально установленных аппаратов определяем по формуле:

$$P_{\text{пр}} = 1,25PR * \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]_R} \quad (29)$$

«где  $[\sigma]_{20} = 154 \text{ МПа}$ , допускаемые напряжения для стали ВСт-3пс4, при температуре  $t = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$ ,  $[\sigma]_R$  - допускаемые напряжения при рабочей температуре,  $[\sigma]_R = [\sigma]_{20} = 154$ , согласно приложения А» [7].

$$P_{\text{пр}} = 1,25 * 1 * \frac{154}{154} = 1.25 \text{ МПа.}$$

Для условий гидроиспытаний в горизонтальном положении аппарата:

$$P_{\text{пр}2} = P_{\text{пр}1} + c_{\text{в}}g(H-D) \cdot 10^{-6} \quad (30)$$

где  $c_{\text{в}} = 998 \text{ кг/м}^3$  - плотность воды,  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$  - ускорение свободного падения,

$$P_{\text{пр}2} = 1,54 \text{ МПа}$$

Допускаемые напряжения для материала колонны при статических однократных нагрузках [21].

Корпус колонны изготовлен из стали ВСт-3пс4. Этой марке стали соответствует допускаемое напряжение согласно при расчетной температуре  $t = 110^\circ\text{C}$ :  $[\sigma]_{20} = 154 \text{ МПа}$ .

Допускаемое напряжение  $[\sigma]$  при расчете по предельным нагрузкам сосудов, работающих при статических однократных нагрузках, вычисляют по формулам:

- для углеродистых, низколегированных, ферритных, аустенитно-ферритных, мартенситных сталей и сплавов на железноникелевой основе:

$$[\sigma]_{20} = \varepsilon \min\left(\frac{R_{e/T}}{n_T}; \frac{R_{m/T}}{n_e}\right) \quad (31)$$

где  $\varepsilon = 1$  - поправочный коэффициент, учитывающий вид заготовки,

$R_{e/T} = 250 \text{ МПа}$  - расчетное значение предела текучести при температуре  $110^\circ\text{C}$ ;

$R_{m/T} = 460 \text{ МПа}$  - расчетное значение временного сопротивления при температуре  $110^\circ\text{C}$ ,

$n_{\text{в}} = 2,4$  - коэффициент запаса прочности по временному сопротивлению (пределу прочности),

$n_{\text{т}} = 1,5$  - коэффициент запаса по пределу текучести.

«Допускаемые напряжения согласно формуле:

$$[\sigma]_{20} = \varepsilon \min \left( \frac{R_e}{n_T}; \frac{R_m}{n_e} \right) = 1 \min \left( \frac{250}{1.5}; \frac{460}{2.4} \right) = \min(166.7; 191.7) = 166.7$$

МПа.

При гидравлических испытаниях

При гидравлических испытаниях допускаемые напряжения находим по формуле» [21]:

$$[\sigma]_{и} = \eta \left( \frac{R_e}{n_T} \right) \quad (32)$$

«Допускаемые напряжения согласно формуле:

$$[\sigma]_{и} = 1 \left( \frac{250}{1.5} \right) = 166.7 \text{ МПа.}$$

Модуль упругости

При температуре  $t=110$  °С,  $E=1,99 \cdot 10^5$  МПа.

Коэффициенты запаса устойчивости:

- для рабочих условий  $n_y=2,4$
- для условий испытаний и монтажа  $n_y=1,8$

Коэффициент прочности сварных швов:

$\psi=0,9$ .

Прибавка к расчетной толщине стенки

Общая прибавка к расчетному значению толщины стенки корпуса колонны находится по формуле:

$$c=c1+c2+c3 \quad (33)$$

где  $c_1$  - суммарная прибавка для компенсации коррозии и эрозии,  $c_1 = 0$ , т.к. внутренняя поверхность колонны покрывается коррозионно-защитным перхлорвиниловым лаком;

$c_2$ - прибавка к расчетной толщине стенки корпуса для компенсации минусового значения предельного отклонения по толщине листа,  $c_2=0,8$  мм;

$c_3$  - прибавка к расчетной толщине стенки корпуса для компенсации утонения стенки элементов аппарата в процессе изготовления,  $c_3 = 0$ .

Общая прибавка к расчетной толщине стенки:

$$c=c_1+c_2+c_3=0+0,8+0=0,8 \text{ мм} \gg [21].$$

### 3.4.3 Прочностной расчет основных элементов аппарата

#### Расчет цилиндрических обечаек

«Расчетная толщина стенки, работающей под действием внутреннего избыточного давления находится по формуле:

$$S_p = \frac{P_1 D}{2[\sigma]_{20} * \varphi_p - P_1} = 0.01334 \text{ м.} \quad (34)$$

Расчетная толщина стенки при условии гидроиспытаний:

$$S_{p2} = \frac{P_\Gamma D}{2[\sigma]_{\Gamma.и.} * \varphi_p - P_2} \text{ м.} \quad (35)$$

где  $P_\Gamma$  - внутреннее избыточное давление при условиях гидроиспытаний,  $[\sigma]_{\Gamma.и.}$  - допускаемые напряжения для стали ВСт-3пс4, при условиях гидроиспытаний аппарата,

$$P_\Gamma = P_{пр1} + c_B g H * 10^{-6} = 1.25 + 998 * 9.81 * 20 * 10^{-6} \text{ МПа}$$

$$S_{p2} = \frac{P_\Gamma D}{2[\sigma]_{\Gamma.и.} * \varphi_p - P_2} = 0.0155 \text{ м}$$

Расчетная толщина стенки, работающей под действием наружного давления находится по формуле» [21]:

$$S_{p3} = \max \left\{ 1.06 \frac{10^{-2}D}{B} \left( \frac{p_2 l}{10^{-5}ED} \right)^{0.4}; \frac{1.2P_2 D}{2[\sigma] - P_2} \right\} \quad (36)$$

где  $E=1,99 \cdot 10^5$  МПа,

$$B = \max \left\{ 1; 0.47 \left( \frac{P_2}{10^{-5}E} * 0.67; \left( \frac{1}{D} \right)^0 * 4 \right)^0 \right\} = \{1; 0.87\} = 1 \quad (37)$$

$$S_{p3} = \max \left\{ 1.06 \frac{10^{-2}D}{B} \left( \frac{p_2 l}{10^{-5}ED} \right)^{0.4}; \frac{1.2P_2 D}{2[\sigma] - P_2} \right\} = \max(0.0277; 0.0012) = 0.0277 \text{ м}$$

Расчетная толщина стенки:

$$S_p = \max \{ S_{p1}; S_{p2}; S_{p3} \} = \max \{ 0.0133; 0.0155; 0.0277 \} = 0.0277$$

Исполнительная толщина стенки определяется с учетом прибавки к расчетной толщине, исходя из условия

$$S \geq S_p + c$$

$$S \geq S_p + c = 0,0277 + 0,0008 = 0,0285 \text{ м} = 28,5 \text{ мм.}$$

Выбираем ближайшее большее стандартное значение толщины стенки  $S=30$  мм.

Расчет обечайки, работающей под совместным действием наружного давления, внешней осевой сжимающей силы и внешнего изгибающего момента

Обечайки, работающие под совместным действием совместных нагрузок  $P_3$ ,  $F_1$  и  $M$  проверяют на устойчивость по условию:

$$\frac{P_2}{[P]} + \frac{F_1}{[F]} + \frac{M}{[M]} \leq 1 \quad (38)$$

где  $[P]$ ,  $[F]$ ,  $[M]$  - допускаемое давление, осевая сила и момент соответственно [21].

Допускаемое наружное давление определяется по формуле:

$$[P] = \frac{[P]_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[P]_{\Pi}}{[P]_E}\right)^2}} \quad (39)$$

где  $[P]_E$  - допускаемое давление из условия устойчивости в пределах упругости;

$[P]_{\Pi}$  - допускаемое давление из условия прочности.

Допускаемое давление из условия прочности определяется по формуле:

$$[P]_{\Pi} = \frac{2[\sigma]_{20}(S-c)}{D+(S-c)} = 2.24 \text{ МПа} \quad (40)$$

Допускаемое давление из условия устойчивости в пределах упругости определяется по формуле:

$$[P]_E = \frac{2,08 \cdot 10^{-5} E}{n_y B_1} * \frac{D}{l} * \left[ \frac{100(S-c)}{D} \right]^2 = 0.098 \text{ МПа} \quad (41)$$

Допускаемое наружное давление по формуле:

$$[P] = \frac{[P]_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[P]_{\Pi}}{[P]_E}\right)^2}} = 0.167 \text{ МПа} \quad (42)$$

«Допускаемая осевая сжимающая сила определяется по формуле:

$$[F] = \frac{[F]_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[F]_{\Pi}}{[F]_E}\right)^2}} \quad (43)$$

где  $[F]_{\Pi}$  - допускаемое осевое сжимающее усилие из условия прочности;  
 $[F]_E$  - допускаемая осевая сжимающая сила из условия устойчивости в пределах упругости» [21].

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия прочности, определяется по формуле:

$$[F]_{\Pi} = p \cdot (D + S - c) \cdot (S - c) \cdot [y]_{20} \quad (44)$$

Допускаемая осевая сжимающая сила из условия устойчивости в пределах упругости определяется по формуле:

$$[F]_E = \min \{[F]_{E1}; [F]_{E2}\} \quad (45)$$

где  $[F]_{E1}$  - допускаемая осевая сжимающая сила, определяемая из условия местной устойчивости в пределах упругости,  $[F]_{E2}$  - допускаемая осевая сжимающая сила, определяемая из условия общей устойчивости в пределах упругости.

Допускаемая осевая сжимающая сила  $[F]_{E1}$ , определяемая из условия местной устойчивости в пределах упругости, определяется по формуле:

$$[F]_E = \min \{[F]_{E1}; [F]_{E2}\} = \min \{187,25; 147,76\} = 147,76 \text{ МН}$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия прочности, по формуле:

$$[F]_{\Pi} = \rho \cdot (D + S - c) \cdot (S - c) \cdot [y]_{20}$$

$$= 3,14 \cdot (1,4 + 0,30 - 0,0008)(0,030 - 0,0008) \cdot 154 = 60,67 \text{ МН}$$

«Вес корпуса аппарата определяется по формуле:

$$G_{\text{кор}} = 1,05 \cdot \rho_{\text{ст}} \cdot g \cdot (V_{\text{об}} + V_{\text{дн}})$$

где  $V_{\text{об}}$  - объем стенок обечайки;  $g = 9.81 \text{ м/с}^2$  ускорение свободного падения;

$V_{\text{в.дн}}$  - объем стенок верхнего днища;  $\rho_{\text{ст}} = 7850 \text{ кг/м}^3$  - плотность стали» [21].

«Объем стенок обечайки определяется по формуле:

$$V_{\text{об}} = \rho \cdot D \cdot S \cdot H_{\text{об}} \quad (46)$$

$$V_{\text{об}} = \rho \cdot D \cdot S \cdot H_{\text{об}} = 3,14 \cdot 1,4 \cdot 0,030 \cdot 31,38 = 11,83 \text{ м}^3.$$

Объем стенок верхнего днища находится по формуле:

$$V_{\text{в.дн}} = F_{\text{дн}} \cdot S_{\text{дн}}$$

$$V_{\text{в.дн}} = 18,2 \cdot 0,030 = 0,546 \text{ м}^3.$$

Вес корпуса аппарата по формуле

$$G_{\text{кор}} = 1,05 \cdot \rho_{\text{ст}} \cdot g \cdot (V_{\text{об}} + V_{\text{дн}}) = 1,05 \cdot 7850 \cdot 9,81 \cdot (11,83 + 0,546) = 1000710,1 \text{ Н} = 1.0007 \text{ МН} \text{» [21].}$$

### 3.4.4 Выбор и расчет опоры

Определяем расчетные нагрузки, действующие на опору. За максимальную приведенную нагрузку  $Q_{\text{max}}$  принимаем наибольшее из значений:

$$Q_1 = \frac{4M_1}{D} + F_1 \quad (47)$$

$$Q_2 = \frac{4M_1}{D} + F_2 \quad (48)$$

«где  $M_1$  и  $M_2$  - расчетные изгибающие моменты в нижнем сечении опорной обечайки в режимах эксплуатации и гидравлического испытания соответственно;

$F_1$  и  $F_2$  - осевые сжимающие силы, действующие в нижнем сечении опорной обечайки в режимах эксплуатации и гидравлического испытания соответственно. Минимальная приведенная нагрузка определяется по формуле» [21]:

$$Q_{min} = \frac{4M_3}{D} + F_3 \quad (49)$$

где  $M_3$  - расчетный изгибающий момент в нижнем сечении опорной обечайки при пустом аппарате;

$F_3$  - осевая сжимающая сила, действующая в нижнем сечении опорной обечайки при пустом аппарате. Принимаем  $M_1=M_2=M_3=0,22$  МН·м

Осевые сжимающие силы:

$$F_3 = G_{кор} = 1,0007 \text{ МН.}$$

$$F_1 = F_3 + G_{пч} + G_{ж} = 1,0007 + 1,79 + 0,185 = 2,9757 \text{ МН}$$

$$F_2 = F_3 + G_{H_2O},$$

где  $G_{H_2O}$  вес воды при гидроиспытаниях определяется по формуле:

$$Q_1 = \frac{4 \cdot 0,22}{1,6} + 2,9757 = 3,2 \text{ МН}$$

$$Q_2 = \frac{4 \cdot 0,22}{1,6} + 5,041 = 5,261 \text{ МН}$$

из полученных результатов следует, что максимальная приведенная нагрузка будет равняться:

$$Q_{\max}=5,2607 \text{ МН.}$$

Выводы по разделу:

Выбираем стандартную цилиндрическую опору тип 1 исполнение 2 (с местными косынками), для которой:

$$Q_{\max}= 6,3 \text{ МН;}$$

$$Q_{\min}= 3,2 \text{ МН.}$$

Основные размеры опоры:

$$\text{Высота опоры } H_1=2100 \text{ мм;}$$

$$\text{Диаметр аппарата } D = 1600 \text{ мм;}$$

$$\text{Наружный диаметр опорного кольца } D_1 = 1960 \text{ мм;}$$

$$\text{Внутренний диаметр опорного кольца } D_2 = 1400 \text{ мм;}$$

$$\text{Толщина обечайки опоры } S_1 = 12 \text{ мм;}$$

$$\text{Толщина опорного кольца } S_2 = 30 \text{ мм;}$$

$$\text{Число болтов } z_b = 32;$$

$$\text{Диаметр болтов } d_b = M36$$

Диаметр отверстий в нижнем опорном кольце под шпильки  $d_2 = 42 \text{ мм.}$

Опорная обечайка проверяется на прочность для рабочих условий, и устойчивость для рабочих условий и условий гидроиспытаний [21].

## **4 Безопасность и экологичность проекта**

### **4.1 Выявление и анализ факторов опасности**

Основные опасные факторы в производственных процессах производства каучука марок СКМС-30АРКМ-15, БСК-1502 обусловлены свойствами применяемых веществ, особенностями технологического процесса и его аппаратурного оформления [13].

– Наличие емкостей с латексом, на стенках которых может накапливаться большое количество коагулюма, способного возгораться.

– Возможность накопления отложений пластиката, олигомеров на стенках сушилок С-1 при сушке каучука, способных к самовозгоранию при длительном воздействии высоких температур.

– Завышение температуры выше режимной в сушилках С-1 может привести к загоранию крошки каучука или пластиката.

– Забивка крошкой каучука трубопроводов, течек отжимной машины М-1, дробилки М-2, ковшового элеватора Г-2, агрегатов выделения, сушки и упаковки каучука № 5, 6, и комкование каучука в концентраторе Л-5, приведет к экстренной остановке агрегатов и внеплановой чистке оборудования.

– Ввиду токсичности применяемых продуктов существует опасность отравления работающих и загрязнения окружающей среды в случае разгерметизации оборудования, выброса газов (паров) или разлива продукта в результате нарушений правил эксплуатации, норм технологического режима, порядка проведения ремонтных работ.

– Повышенная опасность получения механических травм из-за наличия большого количества движущихся и вращающихся деталей, механизмов.

– Опасность получения термических ожогов при отсутствии теплоизоляции на паропроводах, на трубопроводах и аппаратах с высокой температурой стенки.

– Опасность получения ожогов при работе со щелочью.

– Опасность поражения электрическим током при нарушении заземления, изоляции электроустановок [13].

– Нарушение правил приема пара в цех и эксплуатации паропроводов может привести к возникновению гидроударов и разгерметизации паропроводов.

Для защиты сушилок от самовозгорания отложений (пластиката, олигомеров), накапливающихся на стенках сушильных агрегатов при длительном температурном воздействии смонтирована схема паротушения сушилок с использованием электрозадвигек.

Реализация функций автоматического пожаротушения для сушилок С-1 осуществляется посредством микропроцессорной и вычислительной техники с дублированным выходом на блокировку. Применение микропроцессорной техники повышает надежность, оперативное и качественное выполнение функций. При завышении режимной температуры по зонам в сушилках С-1 происходит:

- закрытие заслонки Э-2 на коллекторе отработанных газов из сушилки;
- открытие электрозадвигки Э-1 на линии пара на паротушение сушилок;
- отключение электрооборудования на сушилках, узлах промывки и обезвоживания агрегатов № 5, 6.

Также имеются:

- дистанционный ручной пуск автоматической системы пожаротушения сушилки С-1 с сохранением всех функций автоматического пожаротушения;
- поступление сигнала о загорании на сушилке С-1 в пожарно-спасательное формирование (далее по тексту ПСФ) г. Тольятти;
- автоматическая проверка срабатывания блокировок электрозадвигки, дроссельной заслонки всего электрооборудования, включенного в схему защиты с сигнализацией на срабатывание;
- предупредительная и предаварийная световая сигнализация о завышении температуры в сушилке С-1.

Возможные неполадки и аварийные ситуации, способы их предупреждения и локализации представлены в таблице 11.

Таблица 11 – Возможные инциденты и аварийные ситуации, способы их предупреждения и локализации

Возможные производственные неполадки, аварийные ситуации	Предельно-допустимые значения параметров, превышение (снижение) которых может привести к аварии	Причины возникновения производственных неполадок, аварийных ситуаций	Действия персонала по предупреждению и устранению производственных неполадок и аварийных ситуаций
Пожар в отделении выделения и сушки каучука (сушилка С-1, воздухопроводы из сушилки С-1)	-	1. Сработка латекса без антиоксиданта. 2. Накопление пластика в сушилке и олигомеров в воздухопроводах. 3. Завышение температуры в сушилке С-1	Действовать согласно плану мероприятий по локализации и ликвидации последствий аварий на опасном производственном объекте «Площадка производства бутадиена и бутадиенстирольного каучука» Установка приготовления латекса, коагуляции и фильтрации. Установка сушики, прессования СБСК и приготовление раствора серной кислоты ООО «СИБУР Тольятти».
Развитие аварийной ситуации на других объектах производствах или объединениях, распространение сильнодействующие ядовитые вещества с других объектов.	-	-	Действовать согласно плану мероприятий по локализации и ликвидации последствий аварий на опасном производственном объекте «Площадка производства бутадиена и бутадиенстирольного каучука» Установка приготовления латекса, коагуляции и фильтрации. Установка сушики, прессования СБСК и приготовление раствора серной кислоты ООО «СИБУР Тольятти»

Для повышения безопасности процесса сушки каучука необходимо производить чистку сушилок и оборудования внутри сушилок согласно графику чистки, выдерживать технологический режим в строгом соответствии с требованиями технологического регламента и производственных инструкций

При чистке концентратора Л-5 соблюдать меры безопасности во избежание получения ожогов горячей водой. Воздух в концентратор Л-5 (для разбивания комков) подавать осторожно, удалив из опасной зоны людей.

Во избежание травмирования работающих при эксплуатации оборудования выделения, сушки и упаковки каучука и дальнейшей транспортировке на склад необходимо постоянно контролировать исправность ограждений и устройств автоматической остановки приводов в экстренной ситуации (сушилка С-1, транспортеры концевой части).

#### **4.2 Меры безопасности при ведении технологического процесса, выполнении регламентных производственных операций**

К ведению технологического процесса допускаются лица не моложе 18 лет, имеющие соответствующее медицинское заключение о состоянии здоровья, прошедшие инструктаж по технике безопасности и охране труда, а также обучение в установленном порядке, сдавшие экзамен на допуск к самостоятельной работе на право обслуживания сосудов, работающих под давлением, трубопроводов пара и горячей воды и правилам ведения газоопасных работ.

«Основными мероприятиями, обеспечивающими безопасное ведение технологического процесса, являются:

- строгое соблюдение норм и положений в соответствии с настоящим технологическим регламентом, обеспечение надлежащего контроля за ведением технологических процессов;

- эксплуатация оборудования в строгом соответствии с техническими характеристиками, указанными в паспортах на оборудование или в удостоверениях на качество его ремонта;

- ведение технологических процессов только на исправном оборудовании;

- тщательная подготовка оборудования к ремонту и прием оборудования из ремонта;
- четкая организация ремонтных работ и применение во время проведения этих работ безопасных приемов труда;
- обучение обслуживающего персонала и инструктаж по безопасным методам труда в установленном порядке;
- организация постоянной связи со смежными цехами и установками для их четкого взаимодействия;
- исключение выбросов продуктов в атмосферу и слив их в канализацию;
- соответствие категории взрывозащищенности электрооборудования перерабатываемым продуктам;
- постоянный контроль за безопасной эксплуатацией предохранительных устройств;» [15]
- поддержание чистоты и порядка на рабочем месте;
- постоянная работа приточно-вытяжных вентиляционных установок и обеспечение подпора воздуха в помещениях РП;
- исправность средств индивидуальной защиты, пожаротушения, связи, газозащиты;
- исправность заземляющих устройств;
- обеспечение нормального освещения и содержание светильников в исправном состоянии;
- обеспечение работающих аварийным инструментом, СИЗ;
- систематический контроль за содержанием вредных веществ в атмосфере рабочей зоны отделений;
- обеспечение безотказной работы контрольно-измерительных приборов, систем автоматики, а также систем ПАЗ и сигнализации. Все системы ПАЗ (блокировки) и сигнализации, должны периодически подвергаться ревизиям и испытаниям в сроки, определенные действующими нормативами;
- наличие ограждений движущихся частей механизмов;

- наличие кожухов на фланцах трубопроводов и оборудования со щелочами и кислотами;

«Для предотвращения попадания в канализационные сети и распространения по ним огнезрывоопасных продуктов должны соблюдаться следующие правила:

- все канализационные колодцы должны быть закрыты исправными крышками;

- производственные стоки, сбрасываемые в канализацию, должны контролироваться на содержание в них вредных веществ согласно плану аналитического контроля;

- не допускать попадания в канализацию недегазированных стоков, содержащих огнезрывоопасные продукты» [12].

Меры безопасности при выполнении регламентных операций:

- повышение и понижение давления, температуры в аппаратах, а также заполнение и освобождение аппаратов производить плавно;

- подачу пара и конденсата в аппараты осуществлять, не допуская гидроударов, соблюдать порядок приема пара в цех;

- при освобождении аппаратов не допускать образование вакуума в аппаратах, гашение вакуума в оборудовании осуществлять плавной подачей азота;

- дренирование отстойной воды из аппаратов, трубопроводов производить под постоянным контролем обслуживающего персонала;

- не допускать попадание углеводородов, крошки каучука в канализационные сети;

- для обеспечения безопасности при отборе проб, при проверке состояния оборудования иметь при себе СИЗ.

Запрещается:

- нахождение на месте проведения погрузочно-разгрузочных работ лиц, не участвующих в данный момент в их выполнении;

- работать с неисправными или отключенными блокировками, блокирующими устройствами и сигнализацией [13].

#### **4.3 Индивидуальные и коллективные средства защиты работающих, тушение возможных загораний**

Кроме этого в установке имеется дежурный комплект средств индивидуальной защиты.

Для защиты органов дыхания обслуживающий персонал установок обеспечивается промышленными противогазами, соответствующими перерабатываемым продуктам и противоаэрозольными респираторами.

В установках имеется аварийный запас шланговых противогазов марки ПШ-1, фильтрующих противогазов марки БРИЗ-3001, ОМЕГА-С в соответствии с действующими нормами.

Аварийный запас противогазов хранится под пломбой в специальных шкафах и располагается в доступном месте.

Обеспечение нормальных условий труда и защита обслуживающего персонала от воздействия химических продуктов производится приточно-вытяжной вентиляцией. Для снижения уровня шума и повышения безопасности производства вентиляционные системы смонтированы в изолированных помещениях, вентиляторы установлены на фундаментах.

Производственные помещения обеспечены по нормам естественным и искусственным освещением.

Обслуживающий персонал установок обеспечивается средствами индивидуальной защиты в соответствии с «Типовыми отраслевыми нормами» таблице 12.

Таблица 12 - Средства индивидуальной защиты работающих

Наименование стадий технологического процесса	Профессии работающих на стадии	Средства индивидуальной защиты работающих	Наименование и номер НД	Срок службы (месяц)	Периодичность стирки, хим. чистки защитных средств
Сушка	Оператор сушки синтетического каучука Аппаратчик сушки Прессовщик каучука	Костюм для защиты от общих производственных загрязнений и механических воздействий Белье нательное Перчатки трикотажные с точечным полимерным покрытием Перчатки от порезов Очки защитные открытые Промышленный противогаз с фильтром и сумкой	ТОН Приказ Министерства труда и социальной защиты РФ от 22.12.2015г. № 1110н п.111, п.312, п.330	2 на 2 года 2 на 1 год 24 на 1 год 12 на 1 год до износа, не более 1 года До износа	По мере загрязнения
		Костюм утепленный для защиты от общих производственных загрязнений и механических воздействий Ботинки (полуботинки) кожаные с защитным подноском Ботинки утепленные Подшлемник под каску (с однослойным или трехслойным утеплителем) Перчатки защитные морозостойкие Вкладыши противозвучные Каска защитная оранжевая	Дополнительно	1 на 2 года 1 пара на 1 год 1 на 1,5 года 1 на 2 года 1 на 1 год 4 на 1 год 1 на 2 года	

Выводы по разделу.

Для защиты от поражения электрическим током предусмотрено защитное заземление и зануление электрооборудования. Оборудование, трубопроводы, воздухопроводы, являющиеся источником накопления статического электричества, заземляется.

Для предупреждения повреждений от разрядов молний предусмотрена молниезащита в соответствии с инструкцией ТК/ТС И-115-15 «По грозозащите и защите от статического электричества».

Для защиты от ожогов предусмотрена изоляция аппаратов и трубопроводов, если температура их поверхности более плюс 60 °С [13].

Во избежание травмирования обслуживающего персонала движущимися и вращающимися механизмами предусмотрено их ограждение.

При проведении огневых работ обеспечивается установка защитных экранов со стороны работающего оборудования.

К числу средств коллективной защиты, работающих от воздействия опасных и вредных производственных факторов, относятся:

- автоматизация и дистанционное управление технологическим процессом;
- наличие систем сигнализации и блокировки параметров технологического режима, обеспечивающих безопасное ведение технологического процесса [12]. Схемы автоблокировки, сигнализации перед пуском должны быть проверены и включены в работу;
- систематический контроль за содержанием вредных газов в воздухе рабочих помещений.

## Заключение

Выпускная квалификационная работа посвящена разработке узла очистки воздушных выбросов производства СБСК от  $\alpha$ -метилстирола.

В процессе выполнения исследования рассмотрены основные сведения о предприятии, виды производимой продукции и состав газовойоздушных выбросов процесса сушки.

Разработка узла очистки воздушных выбросов при производстве синтетического бутадиен-стирольного каучука от  $\alpha$ -метилстирола.

Поставленная цель достигнута реализуется путем решения следующих задач:

- анализ состава отходящих в процессе сушки газообразных выбросов, общих принципов и подходов к осуществлению процессов очистки газообразных выбросов в промышленности.

- выбор способа очистки отработанного в процессе сушки воздуха.

- расчет основного аппарата узла очистки воздушных выбросов.

Во втором разделе исследования рассмотрены основные способы утилизации и очистки производственных выбросов, используемых на предприятиях по производству эластомеров. Предложен способ абсорбционного метода очистки газовойоздушных выбросов от стирола в абсорбере на производстве СБСК.

В третьем разделе выполнен технологический и конструктивный расчет аппарата – проектируемого абсорбера.

Четвертый раздел посвящен вопросам производственной безопасности в процессе сушки СБСК.

## Список литературы

1. Аверко-Антонович Л.А. и др. Химия и технология синтетического каучука. – М.: Химия, КолосС, 2008. - 357 с.
2. 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.
3. Башкатов Т. В., Жигалин Я. Л. Технология синтетических каучуков: Учебник для техникумов. 2-е изд., перераб. Л: Химия, 1987. - 360 с.
4. Буренин В. В. Защита атмосферного воздуха от производственной пыли, токсичных паров и газов//Экология и промышленность России. - 2004. - №9. 25-29 с.
5. 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 978-5-97290128-9.
6. 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.
7. Дубальская Э. Н. Очистка отходящих газов - М.,1991. - 256 с.
8. Дубов А. В. Газоочистные аппараты сухого и мокрого типов. М.: Химия, 1993. - 320 с.
9. Дытнерский, Ю. И. Основные процессы и аппараты химической технологии.-М.: Химия, 1983. - 400 с.
10. Инструкция по обслуживанию узла сушки каучука ООО «СИБУР Тольятти». - Тольятти 2015. - 15 с.

11. Инструкция по обслуживанию узла очистки и подачи отработанного воздуха на сжигание «СИБУР Тольятти». - Тольятти 2015. - 20 с.
12. Инструкция по обслуживанию узла сбора парового конденсата и откачки его в конденсатопровод, ООО «СИБУР Тольятти». - Тольятти 2015. - 24 с.
13. Инструкция по обслуживанию узла нейтрализации химических стоков, ООО «СИБУР Тольятти». - Тольятти 2015. - 19 с.
14. Иофе И. Л. Проектирование процессов и аппаратов химической технологии - Л.: Химия, 1991. - 352 с.
15. 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.
16. Николаева Г. И. Массообменные процессы: Учебное пособие. - Улан-Удэ: изд-во ВСГТУ, 2005. - 238 с.
17. Официальный сайт ООО «СИБУР Тольятти» - <https://www.sibur.ru/togliatti/>.
18. Павлов, К. Ф., Романков, П. Г., Носков, А. А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. Л.: Химия, 1987. - 576 с.
19. Плановский, А. Н., Николаев П. И. Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии. Издание 3.-М.: Химия, 1987. - 496 с.
20. Попов М.А. Инженерная защита окружающей среды на территории города. — М.: Изд-во МГУП, 2005. – 231 с.
21. Правила безопасности 03-584-03. Правила проектирования, изготовления и приемки сосудов и аппаратов стальных сварных. 2003. - 98 с.

22. Родионов А. И., Клушин В. Н., Систер В. Г. Технологические процессы экологической безопасности. Калуга: Издательство Н. Бочкаревой, 2000. – 800 с.
23. Стрекалова В. А. Процессы и аппараты защиты атмосферы:
24. 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.
25. Шмырев Д. В., Горбунова В. А., Кочетов О.С., сборник: В МИРЕ НАУКИ И ИННОВАЦИЙ, сборник статей международной научнопрактической конференции, 2016. 204-206 с.
26. Штокман Е. А. Очистка воздуха – М.: Изд. АСВ, 1999 - 456 с.
27. Юшин В. В., Попов В. М., Кукин П. П. и др. /Техника и технология защиты воздушной среды - М.: Высш. шк., 2005. - 391 с.
28. An Adaptive system for Active Noise Reduction/Grzegorz Makarewicz [Электронный ресурс]. URL: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10803548.2000.11105104> (дата обращения 26.09.2021)
29. Brian, P.L.T. Transport of heat and mass between liquids and spherical particles in an agitator tank / P.L.T. Brian, H.V. Hales, T.K. Sherwood // Am. Inst. Chem. Engers. J. 1969 - V. 15 - P. 727-733.
30. Evaluation of the Increased Accident Risk From Workplace Noise/Esco Toppila [Электронный ресурс]. URL: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10803548.2009.11076796> (дата обращения 26.09.2021)
31. Larson, R.G. The effect of fluid rheology on the elastic Taylor-Couette instability / R.G. Larson, S.J. Muller, E.S.G. Shaqfeh // J. Non-Newtonian Fluid Mech. 1994.-Vol. 51.-P. 195-225.
32. Montante, G. Experiments and CFD predictions Of solid particle distribution in a vessel agitated with four pitched blade turbines / G. Montante, G.

Micale, F. Magelli, A. Brucato, // Chemical Engineering Research and Design, 79, 8, 2001 p. 1005-1010

33. Safety and Human Factors Considerations in Control Rooms of Oil and Gas Pipeline Systems: Conceptual Issues and Practical Observations / Najmedin Meshkati [Электронный ресурс]. URL: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10803548.2006.11076669> (дата обращения 27.09.2021)