

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра «Химическая технология и ресурсосбережение»

(наименование)

18.03.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической
технологии, нефтехимии и биотехнологии

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Рациональное природопользование, рециклинг и утилизация отходов

(направленность (профиль)/специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Совершенствование технологии утилизации отходящих газов
от сушильных агрегатов установки Е-2 ООО «Тольяттикаучук»

Студент

М.С. Ермолаев

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

Старший преподаватель Ю.В. Чариков

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2020

Аннотация

Бакалаврскую работу выполнил: Ермолаев М.С.

Тема работы: Совершенствование технологии утилизации отходящих газов от сушильных агрегатов установки Е-2 ООО «Тольяттикаучук»

Научный руководитель: Ю.В. Чариков

Цель бакалаврской работы – усовершенствование технологической схемы термической очистки отходящих газов от сушильных агрегатов, образующихся в процессе сушки каучука.

Задачи бакалаврской работы: провести анализ существующей системы очистки отходящих газов, разработать предложение по ее совершенствованию, обосновать предложенный вариант.

Краткие выводы по бакалаврской работе:

В работе была проанализирована действующая система очистки отходящих газов в производстве синтетического бутадиен-стирольного каучука на ООО «Тольяттикаучук», и разработано технологическое решение по ее усовершенствованию. Бакалаврская работа состоит из введения, трех частей, заключения, списка использованных источников.

Во введении обосновывается актуальность проводимого исследования, описывается цель, задачи, объект и предмет исследования. В первой части приведена краткая характеристика предприятия ООО «Тольяттикаучук» и производства синтетического бутадиен-стирольного каучука (СБСК).

Проведен анализ известных методов очистки отходящих газов от альфа-метилстирола и других углеводородов, а так-же очистка газов от высокоадгезионных частиц. Во второй части разработано технологическое решение по совершенствованию технологии и оборудования очистки отходящих газов. Работа состоит из введения, основной части заключения, списка литературы из 42 источников. Общий объем работы, без приложений 62 страницы машинописного текста, в том числе таблиц 11, рисунков 12. Графический материал выполнен на 2 листах.

Содержание

Введение	5
1 Аналитическая часть	6
1.1 Общие сведения о предприятии ООО «Тольяттикаучук»	6
1.2 Общая характеристика производства синтетического бутадиен-стирольного каучука	7
1.3 Анализ известных методов очистки отходящих газов от альфа – метилстирола и других углеводородов	12
1.4 Очистка газов от высокоадгезионных частиц	17
2 Технологическая часть	27
2.1 Процесс сушки каучука	27
2.2 Существующая схема предварительной очистки отходящих газов	28
2.3 Совершенствование технологии очистки отходящих газов в процессе сушки бутадиен-стирольного каучука	32
3 Расчетная часть	40
3.1 Расчет материального баланса предлагаемой схемы газоочистки	40
3.2 Расчет теплового баланса предлагаемой схемы газоочистки	44
3.3 Конструктивный расчет аппарата	46
3.4 Обоснование способа оптимизации процесса очистки отходящих газов	
Заключение	58
Список используемых источников	59
Приложение А Технологическая схема сушки С – 1/5,6	63
Приложение Б Схема предварительной очистки отработанного воздуха	64
Приложение В Схема предлагаемой очистки отработанного воздуха	65

Приложение Г Чертеж скруббера	66
Приложение Д Чертеж разбрызгивателя типа импеллер	67
Приложение Е Цены и тарифы на энергоресурсы	68

Введение

Экология химической промышленности – один из наиболее актуальных вопросов индустрии. В настоящее время проблема безопасности окружающей среды при работе производств этой отрасли вызывает огромный интерес у всего профессионального сообщества.

На предприятие ООО «Тольяттикаучук» внедрена интегрированная система менеджмента, одним из направлений которой является экологический менеджмент.

«Экологический менеджмент направлен на реализацию экологических целей предприятия, соответствует требованиям минимизации, нейтрализации, сброса, выброса загрязняющих веществ, безотходности производства, безопасности для здоровья промышленно-производственного персонала, сокращения энергопотребления, эффективности ресурсопотребления»[2].

При производстве бутадиен-стирольных каучуков загрязняющие вещества в окружающую среду попадают с воздушными выбросами и сточными водами. Основным источником выделения является технологическое оборудование на всех стадиях процесса.

Воздушные выбросы содержат в основном высокоадгезионную пыль и альфа-метилстирол.

Целью бакалаврской работы является усовершенствование технологической схемы очистки отходящих газов от сушильных агрегатов, образующихся в процессе сушки каучука.

Задачи бакалаврской работы:

- провести анализ существующей системы очистки отходящих газов от сушилок, в производстве бутадиен – стирольных каучуков.

- предложить новую технологическую схему и оборудование по очистке отходящих газов, которая будет полностью отвечать экологической политике предприятия.

1 Аналитическая часть

1.1 Общие сведения о предприятии ООО «Тольяттикаучук»

ООО «Тольяттикаучук» является одним из крупнейших предприятий нефтехимического комплекса России.

Предприятие расположено в северо-восточной части г. Тольятти, Самарской области на одной производственной площадке площадью 4359,0 тыс. м².

Основная деятельность предприятия - производство синтетических каучуков различных марок, которые являются сырьем для шин и резинотехнических изделий. Входит в десятку крупнейших экспортеров Самарской области.

В структуре предприятия - шесть основных производств по выпуску синтетических каучуков, мономеров и промежуточных продуктов и два вспомогательных производства по обеспечению энергоресурсами и ремонту оборудования. Также в состав предприятия входят товарно - сырьевой цех и цех электроавтоматки и измерений.

Мощности производств предприятия:

- производство сополимерных каучуков мощностью 60 тысяч т/год;
- производство бутилкаучука мощностью 75 тысяч т/год;
- производство бутадиена мощностью 80 тысяч т/год и высокооктановой добавки к бензину мощностью 39,2 тысячи т/год;
- производство изопрена мощностью 90 тысяч т/год;
- производство изопреновых каучуков мощностью 82 тысячи т/год;
- производство изобутилен-изобутановой фракции мощностью 165 тысяч т/год и изобутилена мощностью 60 тысяч т/год.

На базе производства изопрена действуют мощности по производству метил-трет-бутилового эфира (высокооктановой компонент к бензину).

Мощности предприятия по МТБЭ составляют 120 тысяч тонн продукции в год.

1.2 Общая характеристика производства синтетического бутадиен-стирольного каучука

«Производство введено в эксплуатацию в 1961 году. Проектная мощность – 55 тысяч тонн в год»[3].

Целевыми продуктами производства являются каучуки марок СКМС-30АРКМ-15, БСК-1502 и СКМС-30АРКМ-27.

Бутадиен-метилстирольные каучуки получают методом радикальной сополимеризации бутадиена с альфа-метилстиролом, в эмульсии в присутствии эмульгаторов, инициаторов и регуляторов.

Сополимеры бутадиена с альфа-метилстиролом являются некристаллизующимися аморфными каучуками нерегулярного строения со статистическим распределением мономерных звеньев в цепи. Около 30% (от общего количества) стирольных звеньев составляют одиночные звенья, около 40% распределены попарно.

Сополимеризация бутадиена со альфа-метилстиролом осуществляется в водной эмульсии в присутствии эмульгаторов, диспергатора, буфера, инициатора, окислительно-восстановительной системы, регулятора молекулярной массы, обессоленной и обескислороженной воды.

Мономеры имеют высокую степень чистоты, так как содержащиеся в них примеси отрицательно влияют на скорость полимеризации, а некоторые из них способствуют разветвлению и сшиванию макромолекул, что ухудшает свойства каучуков. Возвратные мономеры, образующиеся после их отгонки из латексов, проходят очистку от примесей перед смешением с исходными мономерами.

В качестве эмульгаторов при синтезе бутадиен-стирольного каучука используются мыла карбоновых кислот. За счет наличия полярной группы и

углеводородной части эти вещества образуют ассоциаты (мицеллы), которые частично растворяют мономеры и адсорбируются на поверхности капель мономера, а далее на образующихся в процессе полимеризации полимерно-мономерных частицах. Наличие поверхностного слоя эмульгатора защищает частицы от слипания.

Основной эмульгатор, используемый при получении бутадиен-стирольного каучука это мыло диспропорционированной канифоли которое представляет собой смесь мыл абиетиновой, пимаровой, палюстровой и дегидроабиетиновой кислот.

Помимо эмульгаторов в рецептуре используется лейканол (диспергатор НФ), – натриевая соль продукта взаимодействия нафталинсульфокислоты и формалина. Кроме того, в нём содержится сульфат натрия (до 40 % масс.). Сам лейканол не является эмульгатором, но способствует сильному диспергированию мономеров в воде и обеспечивает необходимую агрегативную устойчивость латексов при механических и термических воздействиях. При выделении каучуков из латексов он почти полностью попадает в сточную воду.

Действующая ООО «Тольяттикаучук» схема полимеризации, дегазации латекса, выделения каучука и его сушки в основном не отличается от принятой в мировой практике. На полимеризацию поступает углеводородная шихта, которая представляет собой смесь бутадиена-ректификата, очищенного от ингибиторов, и бутадиена-возврата, очищенного после его отгонки из латекса, смесь стирола-ректификата с стиролом-возвратом. Отдельно готовится концентрированная водная фаза, состоящая из растворов эмульгатора, лейканола, буфера, ронгалита и железо-трилонового комплекса. Сухой остаток концентрированной водной фазы составляющий 16 – 18% (масс.), разбавляется в потоке умягчённой (обессоленной и обескислороженной) водой до сухого остатка 2,8 – 3,0 % масс. и $\text{pH} = 10,4 - 10,8$. Именно при таком pH эффективно работает активирующая окислительно-восстановительная система. Водная фаза в насосе смешивается

с углеводородной шихтой и подаётся в коллектор, ведущий на полимеризационные батареи, в который предварительно вводится эмульсия гидропероксида и меркаптан.

После последнего полимеризатора в латекс при конверсии 64 – 72 % вводят раствор стоппера и подают в систему дегазации. На первой стадии он подогревается острым (увлажнённым) паром до 35–40 °С, при этом удаляется бутадиен. Затем латекс проходит три колонны, в которых под вакуумом с помощью острого увлажнённого пара отгоняется альфа-метилстирол. Содержание свободного мономера в дегазированном латексе не должно превышать 0,15 – 0,2 % (масс.).

Латексы усредняются в ёмкостях объёмом 300 - 500 м³, снабжённых мешалками и циркуляционными насосами. В зависимости от подачи насосов, типа и частоты вращения мешалок усреднение латексов продолжается в течение 1,5 - 4 ч. После этого определяются основные параметры: содержание в латексе сухого остатка и легколетучих веществ, а также вязкость каучука по Муни. При соответствии этих параметров нормам латексы заправляются антиоксидантами (противостарителями) каучуков. В маслонаполненные каучуки антиоксиданты вводятся вместе с маслом-наполнителем, а в ненаполненные – в виде эмульсий или суспензий.

Механизм выделения каучуков из латексов заключается в десорбции эмульгаторов с поверхности полимерных частиц и переводе мыл серной кислотой в свободные органические кислоты. Десорбция эмульгатора осуществляется полимерными аминными добавками.

В латекс или латексно-масляную смесь флокулянт подаётся в первый аппарат каскада, куда поступает рециркулируемый серум (вода, отделённая от крошки каучука, содержащая эмульгатор и лейканол). Под действием серной кислоты мыла переходят в соответствующие карбоновые кислоты. На 75 - 90% они остаются в каучуке. Полная конверсия мыл происходит во втором аппарате каскада, в который дополнительно подаётся серная кислота при pH=3,0 - 4,0.

Далее пульпа поступает в вертикальный аппарат-концентратор, в котором крошка всплывает вверх и "сгребается" в промывную ёмкость. После промывки крошка поступает через второй концентратор в отжимную машину (экспеллер), далее в дробилку, затем в сушилку. После сушки каучук брикетируется и упаковывается в полиэтиленовую пленку, а затем складывается в контейнеры.

При производстве каучука образуются сточные воды в количестве 15 - 20 м³ на 1 т каучука, которые содержат до 6,0 г/л хлоридов, 0,5-0,7 г/л сульфатов, 0,1-0,4 г/л карбоновых кислот и мыл, до 0,15 г/л лейкоанола и мелкую крошку каучука. Сточные воды направляются последовательно на очистку от механических примесей, а затем на биохимическую очистку.

Газовые выбросы из сушилок подвергаются дожигу в специальных печах. Селективность очистки составляет 90÷95%.

Все выпускаемые бутадиен-стирольные каучуки не содержат токсичных продуктов и веществ, способствующих образованию канцерогенных соединений при переработке каучуков. Остаточный стирол содержится в каучуках в количестве 0,01-0,02% (масс.).

В производственный процесс получения каучуков бутадиен-альфа-метилстирольных, входят четыре технологические установки:

- 1) установка растворов и полимеризации бутадиена и альфа-метилстирола (отделение Е-1);
- приготовление растворов железо - трилонового комплекса ронгалита, соды кальцинированной, концентрированной водной фазы, регулятора (третичного додецилмеркаптана), стоппера (диэтилгидроксиламина);
- приготовление эмульсий инициатора (гидроперокси пинана), регулятора (третичного додецилмеркаптана), пеногасителя;
- приготовление углеводородной шихты;
- приготовление эмульсий углеводородов;
- сополимеризация мономеров.

- 2) установка отгонки и компримирования (отделение Е-1, Е-9);
 - дегазация незаполимеризовавшихся мономеров из латекса;
 - дистилляция альфа-метилстирола - возврата;
 - компримирование и конденсация бутадиена - возврата (отделение Е-9).
- 3) установка приготовления латекса, коагуляции и фильтрации (отделение Е-2);
 - комплектация емкостей латексом для каучука марок СКМС-30АРКМ-15, СКМС-30АРКМ-27, БСК-1502;
 - приготовление латексно-масляной эмульсии для марок СКМС-30АРКМ-15, СКМС-30АРКМ-27;
 - коагуляция латекса для марок каучука (выделение каучука марок СКМС-30АРКМ-15, БСК-1502 и СКМС-30АРКМ-27).
- 4) установка сушки, прессования СБСК и приготовления раствора серной кислоты (отделение Е-2);
 - приготовление раствора серной кислоты,
 - брикетирование и упаковка каучука,
 - переработка каучука на червячной машине,
 - нейтрализация кислых стоков,
 - подача отработанного воздуха из сушильных агрегатов,
 - гидравлическая установка,
 - сбор и откачка парового конденсата.

1.2.1 Применение бутадиен-стирольных каучуков

Бутадиен-стирольные каучуки широко применяются в производстве протекторов автопокрышек, боковин шин, транспортёрных лент, рукавов, шприцованных и формованных изделий, изоляционных материалов, радиационностойких резин, обуви, спортивных и цветных изделий, клеев и пр.

Технические и физико-механические свойства бутадиен-стирольных каучуков зависят прежде всего от соотношения бутадиена и стирола, что используется для получения каучуков различного назначения.

Каучуки СКМС-30АРКМ-15, СКМС-30АРКМ-27 и СКМС-30АРКМ-30АРКМ-15 (РЛ) – при изготовлении радиальных шин для легковых автомобилей, СКМС-30АРКПН – в производстве обувных и резинотехнических изделий.

Каучук СКС-50 имеет хорошие технологические свойства, а резины на его основе – высокие прочностные и диэлектрические показатели, но недостаточную эластичность и низкую морозостойкость. Он применяется для изготовления микропористых подошв, эбонита, трубок, профилей и других изделий.

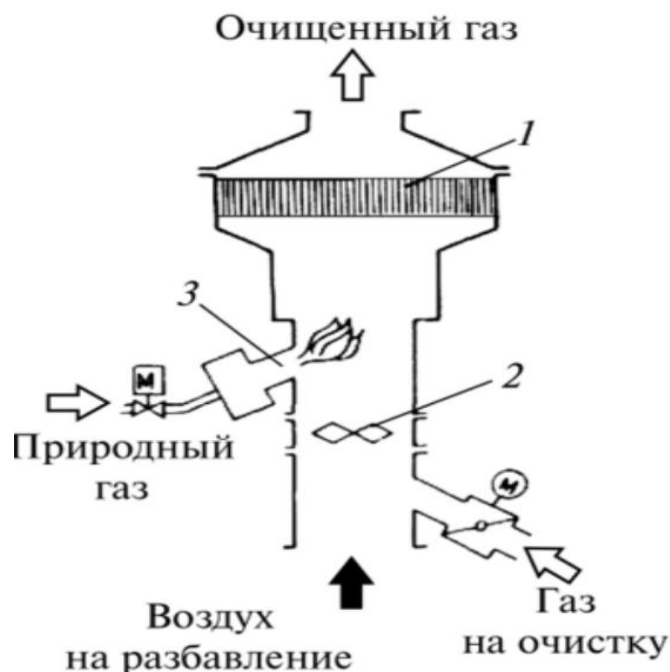
«Благодаря удачному сочетанию комплекса технических (технологических и физико-механических) свойств и экономичности производства (доступность исходного сырья, сравнительно простая технология производства) эмульсионные бутадиен-стирольные каучуки, очевидно, сохраняют своё значение и в будущем в течение длительного времени»[3].

1.3 Анализ известных методов очистки отходящих газов от альфа – метилстирола и других углеводородов

«В настоящее время для очистки воздушных выбросов от альфа – метилстирола, этилбензола и других углеводородов в производстве эмульсионных синтетических каучуков используют термokatалитический метод окислительного разложения углеводородов, позволяющий на 90-95% удалять из воздуха органические загрязнения. Для этих целей используют специальные реакторы, загруженные дорогостоящими платиносодержащими

катализаторами, или катализаторами, включающими дефицитные оксиды марганца, хрома или других металлов»[12].

Термокаталитический реактор изображен на рисунке 1.



1 – катализаторная корзина, 2 – смеситель, 3 – горелка.

Рисунок 1 – Термокаталитический реактор

«Основным недостатком термокаталитического процесса, кроме использования дорогостоящих катализаторов, является его высокая энергоемкость, связанная с необходимостью предварительного подогрева очищаемого воздуха до 400-500°C, так как эффективное каталитическое разложение углеводородных загрязнений в воздухе идет только в указанном температурном режиме. При этом выделяемое тепло как от сжигания природного газа, так и органических загрязнений практически не утилизируется и выбрасывается с очищенным воздухом в атмосферу»[12].

«Другим недостатком такого способа является отложение осмоленных органических соединений: жирных кислот, летучих, антиоксидантов, талька, масел-наполнителей и других органических соединений в трубопроводах

перед реактором и загрязнения ими реактора. В связи с этим необходимо проводить трудоемкую чистку от этих отложений»[12].

«Частично образование отложений снижается путем предварительной обработки отходящих газов в скрубберах мокрой очистки. В этом случае происходит смачивание летучих компонентов и снижение в какой-то мере образующихся смолистых отложений. Но вода обладает слабым смачивающим эффектом и кроме того, увеличивает объем общих химзагрязненных стоков»[12].

«Известен способ очистки воздуха от стирола с использованием озона.

Этот способ эффективен для очистки воздуха от стирола и других углеводородов, требующих строго эквивалентного соотношения их с озоном, а в некоторых случаях и избытка озона по отношению к окисляемым углеводородам»[12].

«Известен способ очистки отработанного воздуха озono-воздушной смесью с катализатором - активированным углем с удельной поверхностью 0,7-1 см²/г, при температуре 50-100 °С. Соотношение по массе озон : кислород воздуха в озono-воздушной смеси 1:2-4. Соотношение озон : органические загрязнения 1:2-10»[12].

Эффект очистки достигается за счет концентрирования на поверхности активированного угля органических соединений: стирола, винилциклогексена, олигомеров бутадиена и других компонентов с одновременным катализом взаимодействия озона и углеводородов по свободно-радикальному механизму.

Недостатком этого способа является трудное распределение небольших количеств озона в большом объеме воздушных выбросов. Так, их количество для каучуков эмульсионной полимеризации составляет от 10 до 20 тыс. м³ на одну тонну каучука.

Кроме того, этот способ требует предварительную очистку воздуха от отложений органических соединений в виде аэрозолей, осмоляющихся и загрязняющих поверхность воздуховода.

Возможна очистка воздуха от органических соединений при относительно низкой температуре путем биологического окисления специальными штаммами бактерий. Для такого способа требуются большие площади под установку, так как производительность очистки воздуха значительно ниже, чем у вышеприведенных способов.

Наиболее близким к предлагаемому техническому решению является действующий способ термической очистки отработанного воздуха производства синтетических каучуков от ароматических углеводородов в топке парогенераторных котлов.

«В описанном способе термическую очистку отработанного воздуха производства синтетических каучуков от ароматических углеводородов проводят путем их сжигания совместно с природным газом в топке парогенераторного котла при температуре 1000-1200°С. Заявленный способ в основном относится к очистке отработанного воздуха производства каучуков стереорегулярной полимеризации, например, бутадиенового каучука СКД, осуществляемой в органических растворителях с последующим выделением каучука из раствора в толуоле водной дегазацией растворителя и сушкой каучука в воздушной сушилке. Выделяемый каучук практически не содержит других, кроме остаточного растворителя, летучих соединений, способных загрязнять отработанный воздух. Структура полимерных гранул каучука СКД, направляемого в воздушные сушилки, не содержит мелкодисперсных фракций, способных увлекаться потоком горячего воздуха, поступающего на сушку каучука»[12].

Указанные обстоятельства таким образом не вызывают полимерных и смолистых отложений в воздуховодах и технологическом оборудовании парогенераторных котлов при осуществлении в них термического способа очистки отработанного воздуха от углеводородов согласно заявленному способу.

«Однако заявленный способ не может быть использован для очистки отработанного воздуха после выделения и сушки каучука эмульсионной

полимеризации, так как в технологическом процессе и рецептуре получения каучуков эмульсионной сополимеризацией бутадиена и стирола применяются и входят в состав сырого каучука, после стадии коагуляции, отдельные виды вспомогательных материалов, способных в условиях работы сушильных агрегатов улетучиваться из каучука. При повышенной температуре (120-160°C) вместе с отработанным воздухом, содержащим до 300 мг/м³ стирола, до 50 мг/м³ этилбензола, димеров бутадиена и парами воды удаляются, а затем, по мере охлаждения воздушного потока, конденсируются вязкие смолистые отложения на поверхности воздухопроводов, способные к забивке оборудования и самовозгоранию»[12].

«В состав таких летучих соединений входят низкомолекулярные фракции (до C₁₂) жирных кислот, содержащиеся в применяемом для полимеризации эмульгаторе и способные вызывать активную коррозию оборудования; низкомолекулярные углеводороды, входящие в состав минерального масла, используемого при получении маслонеполненных эмульсионных каучуков товарных марок СКМС-30АРКМ-15 и СКМС-30АРКМ-27. Кроме того, из работающих сушилок с потоком отработанного воздуха увлекается некоторое количество мелкодисперсного каучука, талька, антиоксидантов и других видов загрязнений»[24-25].

«Указанные дополнительные загрязнения в отработанном воздухе помимо стирола, этилбензола и др. летучих углеводородов, замедляют процесс термической очистки по заявленному способу, способны вызвать коррозию, забивку смолистыми отложениями оборудования котловых агрегатов, что снижает производительность установки термического дожигания как по объему очищаемого воздуха, так и по выработке пара и горячей воды»[12].

1.4 Очистка газов от высокоадгезионных частиц

«В процессе сушки каучука образуются воздушные выбросы, которые содержат токсичные органические соединения, смолистые и взвешенные вещества (тальк), поэтому выброс загрязненного воздуха без очистки невозможен»[5-7].

Анализ по выбору оптимальной газоочистной системы, удовлетворяющей очистке газов с особенностями, описанными выше, позволяет заключить:

- использование сухих систем (фильтровальных установок, адсорбционных) нецелесообразно в связи с высокой адгезией частиц, что приведет к частой замене фильтровальных элементов или загрузки адсорбера, не считая других операционных факторов использования данных методов;
- электрофильтры требуют обоснования по способности наэлектризовывать тот или иной тип аэрозоля с дальнейшим его удалением с осадительного электрода, что скорее всего приведет к его обрастанию слоем смолянистых веществ и увеличению электрического сопротивления;
- мокрые системы (различные типы скрубберов) отличаются наименьшими эксплуатационными затратами, при этом создание определенного гидродинамического режима позволит избежать непосредственного контакта внутренних устройств с адгезионными частицами. Однако, типовые мокрые системы ограничены по эффективности улавливания микронных и субмикронных частиц, а также снабжены контактными устройствами, например, насадочным слоем или тарелками, склонными к засорению.

«В соответствии с анализом можно заключить, что очистка таких газов в скрубберах рациональна, однако требует рассмотрения вопроса по

повышению эффективности очистки и нивелирования адгезионных свойств частиц на внутренние устройства скрубберов»[1].

Существуют следующие пути повышения эффективности очистки газов в скрубберах:

- увеличение поверхности контакта взаимодействующих фаз;
- увеличение степени взаимодействия контактирующих фаз.

При увеличении поверхности контакта взаимодействующих фаз прямым способом, увеличением поверхности насадочного слоя, например в насадочных скрубберах, проблема засорения слоя адгезионными частицами возрастает, поскольку увеличение поверхности контактных устройств неминуемо приводит к уменьшению порозности слоя [35].

Возможен косвенный способ увеличения поверхности контакта взаимодействующих фаз, заключающийся в образовании мелкодисперсной среды из жидкой фазы вместо пленки. Собственно, увеличение степени взаимодействия контактирующих фаз за счет перехода ведения процесса в контролируемом турбулентном режиме, позволяет, как увеличить поверхность контакта (за счет образования мелких капель), так и интенсифицировать взаимодействие фаз (постоянное обновление поверхности контакта).

К аппаратам, в которых возможно интенсифицировать процесс косвенным способом, относятся скрубберы инерционного типа:

- скруббер Вентури,
- динамический скруббер,
- ротационный скруббер,
- центробежный скруббер.

1.4.1 Скруббер Вентури

«Скруббер Вентури разработан для очистки различных газов от твердых частиц. Классическая единая простая конструкция скруббера обеспечивает максимальную его эффективность. Корпус данного аппарата выполнен в виде трубы Вентури, напоминающей своей формой песочные часы и состоящей из конуса, переходящего в узкую горловину, которая затем расширяется в полноценный диффузор»[1].

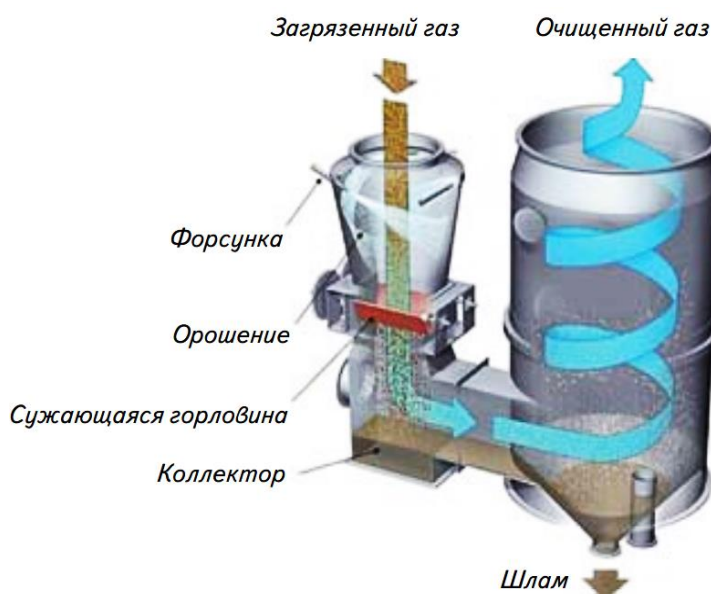


Рисунок 2 – Скруббер Вентури

«Принцип действия скруббера Вентури: в центральное отверстие сужающегося конуса аппарата поступает очищаемый воздух. Конус аппарата оснащен форсунками для подачи жидкости. Сечение конуса сужено, что заставляет смесь газа и жидкости двигаться быстрее, вызывая эффект турбулентности. Турбулентность дробит поток на мельчайшие капельки, на поверхности которых оседают твердые частицы из очищаемого газа. По мере поступления потока в расширяющуюся часть аппарата его скорость снижается и турбулентность ослабевает. Жидкость собирается в крупные

капли и под действием сил тяжести и инерции оседает на дно аппарата, заполненного водой»[11].

«Далее очищенный воздух по соединительной трубе попадает в каплеотбойник через тангенциально расположенное входное отверстие. Под действием центробежных сил оставшиеся в очищенном воздухе тяжелые смоченные частицы, соприкасаясь с влажными стенками каплеотбойника, удаляются из потока газа»[8].

«В случае, когда расход очищаемого воздуха большой, для отделения жидкости от воздуха дополнительно применяют туманоуловительную перегородку. Жидкость с уловленной пылью сливается в нижнюю часть аппарата, откуда выгружается на утилизацию, а очищенный газ выводится через отверстие в верхней части скруббера»[11].

Характеристики и особенности:

- эффективность очистки до 99% в широком диапазоне размеров частиц;
- большое сопротивление (перепад давления) от 2,5 до 15,0 кПа;
- очистка газов с высокой концентрацией твердых частиц;
- легко регулируется и настраивается;
- практически не требует обслуживания.

1.4.2 Динамический скруббер

Динамический скруббер предназначен для использования во всех областях промышленности, где присутствуют пыль, аэрозоль, газ. Особенно широко аппарат применяется в металлургической и химической промышленности.

«Известны случаи его применения на мусоросжигательных заводах для очистки воздуха от запахов» [26].

«Корпус аппарата выполнен в виде цилиндра, установленного вертикально» [36].

В средней части к нему присоединен вентилятор с системой воздуховодов. Очищаемый воздух поступает в нижнюю часть скруббера по касательной, придавая вращательное циклонное движение потоку.

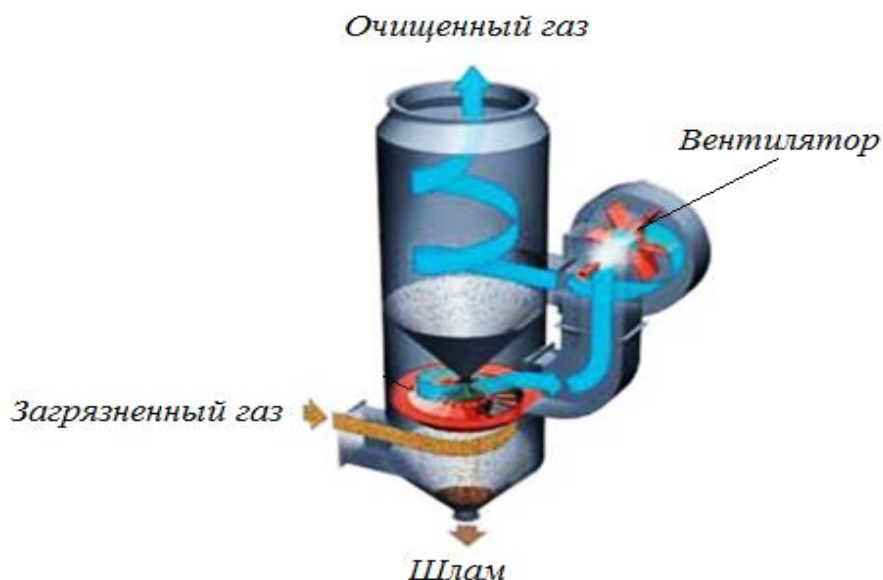


Рисунок 3 – Динамический скруббер

«Крупные частицы удаляются под воздействием центробежных и гравитационных сил. Сверху на поток очищаемого воздуха вращающимся колесом с лопатками разбрызгивается вода. Частицы загрязняющего вещества, смоченные ею, образуют агломераты частиц с каплями, которые частично оседают на этом этапе очистки в нижней части аппарата»[11].

«Далее очищаемый воздух с более мелкими частицами загрязняющего вещества поступает в камеру с вентилятором, где разгоняется им и возвращается в верхнюю часть аппарата через тангенциально расположенное отверстие»[18,19].

«Под действием центробежных сил частицы загрязняющего вещества прижимаются к внутренним стенкам аппарата, прилипают к водяной пленке и далее смываются водой в нижнюю его часть. Очищенный воздух выходит из аппарата через выпускное отверстие в верхней части»[11].

Характеристики и особенности:

- высокая эффективность очистки в широком диапазоне размеров частиц;
- малое сопротивление (перепад давления) — до 1,2 кПа;
- возможно использование различных туманоулавливающих устройств.

1.4.3 Ротационный скруббер

Ротационный скруббер предназначен для высокоэффективной очистки газа от твердых частиц, рисунок 3.

«Его корпус представляет собой вертикальный цилиндр. Очищаемый воздух подается в нижнюю часть его через тангенциально расположенное отверстие и движется по спиральной траектории снизу вверх. На пути движения воздуха установлено быстро вращающееся колесо с лопатками, на которое подается очищающая жидкость, обычно вода. Привод колеса расположен снаружи корпуса»[41,42].

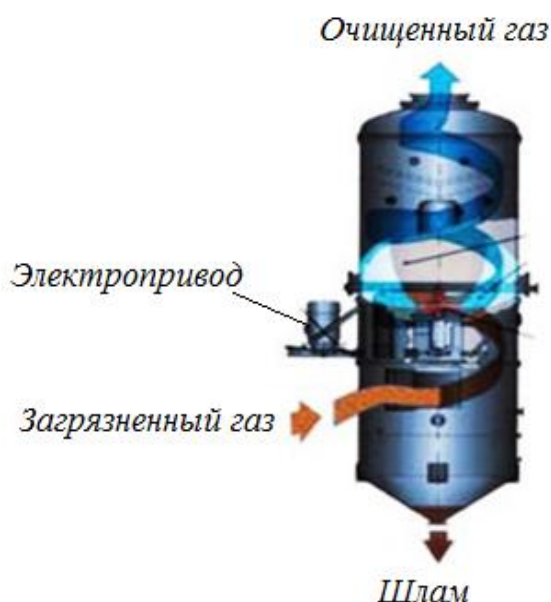


Рисунок 4 – Ротационный скруббер

«Вращающееся колесо с лопатками разбивает жидкость на мелкие капли и ускоряет движение очищаемого воздуха, создавая в аппарате воздушный вихрь. Твердые частицы в очищаемом воздухе контактируют с каплями воды, создавая агломераты частиц с каплями. Под действием сил инерции и диффузии твердые частицы налипают на внутреннюю стенку аппарата и смываются вниз водой, специально подаваемой в верхнюю часть корпуса. Шлам и отработанная вода выводятся через отверстие в нижней части аппарата. Для увеличения эффективности очистки применяют последовательную установку двух и более ротационных скрубберов»[9].

Характеристики и особенности:

- высокая эффективность очистки в широком диапазоне размеров частиц;
- малое сопротивление (перепад давления);
- отсутствие узлов для засорения; минимальное обслуживание;
- малый расход свежей воды;
- компактный дизайн.

1.4.4 Центробежный скруббер

«Центробежный (циклонный) скруббер наиболее распространен в промышленности и предназначен для очистки воздуха с большими концентрациями загрязняющих веществ без снижения эффективности, которая достигает 99% для частиц диаметром более 30 мкм, для частиц 5–15 мкм эффективность снижается до 80%, для частиц диаметром менее 5 мкм, не более 40%. Корпус центробежного скруббера выполнен в виде полого, вертикального цилиндра. Очищаемый воздух подается в нижнюю его часть через тангенциально расположенное отверстие»[10,17].

В верхней части аппарата, по его окружности, установлены форсунки. Через них вода под давлением подается на внутреннюю поверхность корпуса, где создает тонкую водную пленку. Очищаемый воздух движется в скруббере по винтовой траектории снизу вверх. Для усиления вращательного

движения воздуха в центральной части аппарата установлены специальные лопатки рисунок 5 (центробежный скруббер)



Рисунок 5 – Центробежный скруббер

«Частицы загрязняющих веществ под действием центробежной силы оттесняются к мокрым стенкам скруббера, прилипают к ним и вместе с водой стекают в нижнюю часть, откуда периодически удаляются. Очищенный воздух выходит в верхней части аппарата»[32,33].

Характеристики и особенности:

- высокая эффективность очистки в широком диапазоне размеров частиц;
- малое сопротивление (перепад давления) — до 1,2 кПа;
- возможность использования при больших расходах очищаемого воздуха;
- отсутствие движущихся частей;
- низкие эксплуатационные расходы.

Для безостановочной работы данных скрубберов с газами, содержащими смолянистые соединения, необходимо организовывать геометрию аппарата, поддерживающую определенный гидродинамический режим. Под этим понимается создание мелкодисперсной фазы для улавливания загрязняющих частиц и отсутствие в аппарате сухих зон, а также неподвижных внутренних устройств.

Данным требованиям отвечает, ротационный скруббер. Принципиальная схема работы ротационного скруббера изображена на рисунке 6.

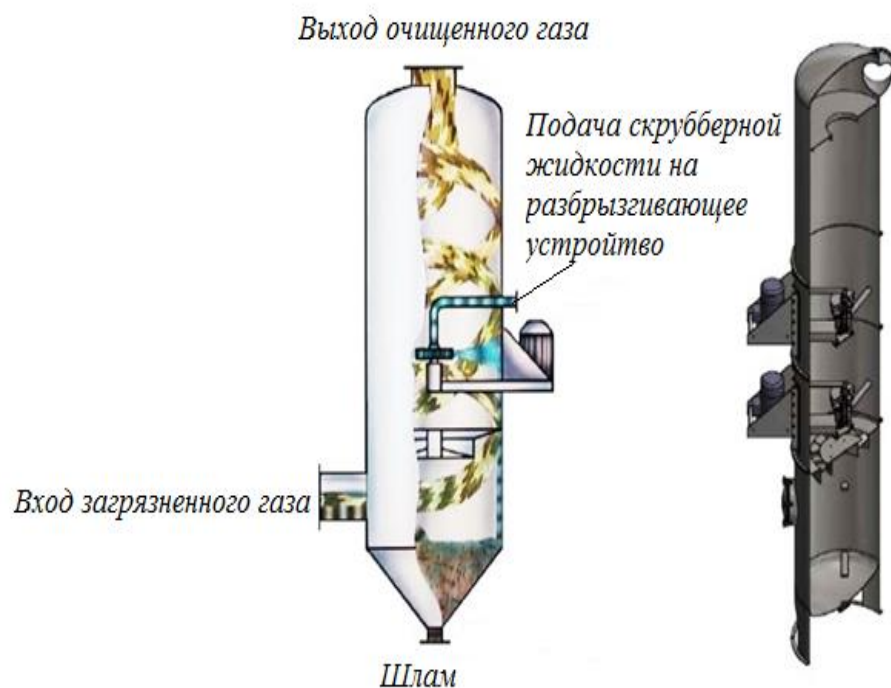
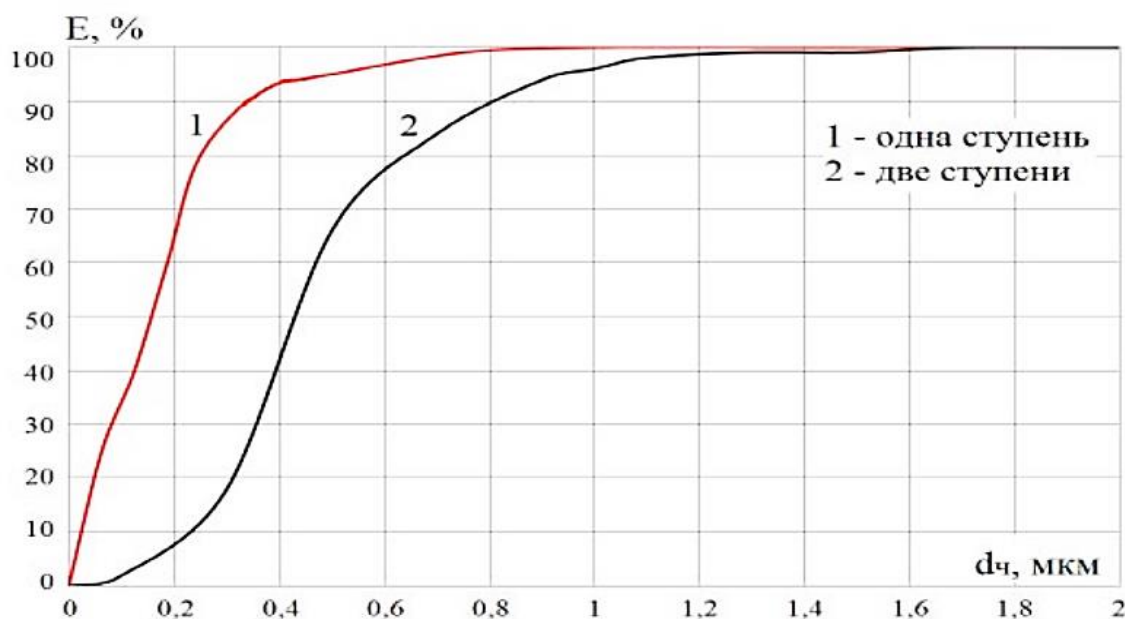


Рисунок 6 – Принципиальная схема работы ротационного скруббера

Необходимая поверхность контакта с газовой фазой в данном скруббере создается за счет специального разбрызгивающего устройства (массообменной ступени), при этом создаваемые капли соответствуют размеру частиц, находящихся в газовой фазе, гарантируя полное их

улавливание. Далее коагулированные капли отбрасываются к стенке аппарата, создавая защитную пленку. Таким образом, данный тип скруббера, помимо высокой эффективности по улавливанию субмикронных частиц, указанных на рисунке 7 и одновременной абсорбции газообразных загрязнений, устойчиво работает с высокоадгезионными частицами, не засоряясь, что подтверждается широким списком референций по данному типу скруббера[11].



1– при использовании одной массообменной ступени;
2– при использовании двух массообменных ступеней.

Рисунок 7 – Зависимость эффективности улавливания (E, %) частиц от их размера (d_ч, мкм)

Вывод: из проведенного анализа известных методов очистки отходящих газов от альфа – метилстирола и других углеводородов, наиболее оптимальный является действующий метод термической очистки.

В качестве основного оборудования предварительной очистки отходящих газов предлагается рассмотреть скруббер ротационного типа.

2 Технологическая часть

2.1 Процесс сушки каучука

На ООО «Тольяттикаучук» для сушки крошки каучука применяются две полутораксовых сушилки.

Сушка каучука производится на агрегатах № С-1/5,6

«В сушилке С-1/5,6 специальным устройством крошка каучука равномерно распределяется по всей ширине первого верхнего конвейера. 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. Сушка крошки каучука в сушилке С-1/5,6 осуществляется циркулирующим нагретым воздухом с постоянной подпиткой свежим воздухом. Из пятой зоны сушилки С-1/5,6 крошка каучука поступает в зону охлаждения холодным воздухом, забираемым с установки последним по ходу циркуляционным вентилятором № 18. Время пребывания крошки каучука в сушилке С-1 при режимной температуре не более 1 часа»[6].

Вытяжные вентиляторы 22 б, в, г предназначены для подачи отработанного воздуха из сушилки в общий коллектор отработанных газов.

Технологическая схема сушилки С-1/5,6 указана в приложении А.

При сушке всех типов каучуков имеют место трудности, связанные с недосушкой каучука и налипанием в нем влажных включений, а также пересушкой каучука, приводящей к его термопластике и повышенной липкости.

Наличие влажных включений ухудшает смешение каучука с ингредиентами и снижает уровень физико-механических показателей резин.

Наличие термопластиката затрудняет обрабатываемость каучука и также снижает комплекс физико-механических показателей.

Оптимальная величина потерь массы составляет 0,2-0,4%.

Сушку каучука можно рассматривать как два одновременных процесса, движение влаги к поверхности каучука и испарение воды с его поверхности.

Оба процесса должны осуществляться синхронно.

При быстром испарении воды с поверхности каучука верхние слои полимера подсыхают, термопластицируются, закрывают отверстия пор и препятствуют испарению внутренней влаги [6].

Испарение воды происходит в капиллярах каучука, вода диффундирует по капиллярам пор в окружающую среду. Такое перемещение воды происходит до окончания процесса сушки. Скорость сушки обусловлена при этом скоростью диффузии воды к поверхности частиц.

Интенсивность сушки максимальна, когда скорость переноса тепла и массы в пограничном слое соответствует скорости испарения воды и тепла внутри каучука и определяется сопротивлением диффузии и движущей силой процесса.

Основные показатели процесса сушки производительность, влажность продукта на входе и выходе, энергоемкость, компактность, герметичность оборудования, время пробега между ремонтами, степень автоматизации и компьютеризации процесса, техника безопасности и пожаробезопасность.

2.2 Существующая схема предварительной очистки отходящих газов

Отработанный воздух от сушильных агрегатов после предварительной очистки подается на установку производства добавки высокооктановой метанольной (ДВМ), с целью утилизации.

Отработанный воздух, содержащий в небольших количествах мономеры (бутадиен, стирол, альфаметилстирол), продукты разложения каучука, смоляные и жирные кислоты, по коллектору подается в влагосмолоотстойник № 23, орошаемый оборотной водой.

«Во влагосмолоотстойнике № 23 из отработанного воздуха отмываются смолы и вместе с водой поступают в химзагрязненную канализацию».

Частично очищенный, отработанный воздух поступает во всасывающую линию вентилятора № 24 и далее по трем магистральным воздуховодам подается на печи сжигания установки Д-6 рисунок 8.

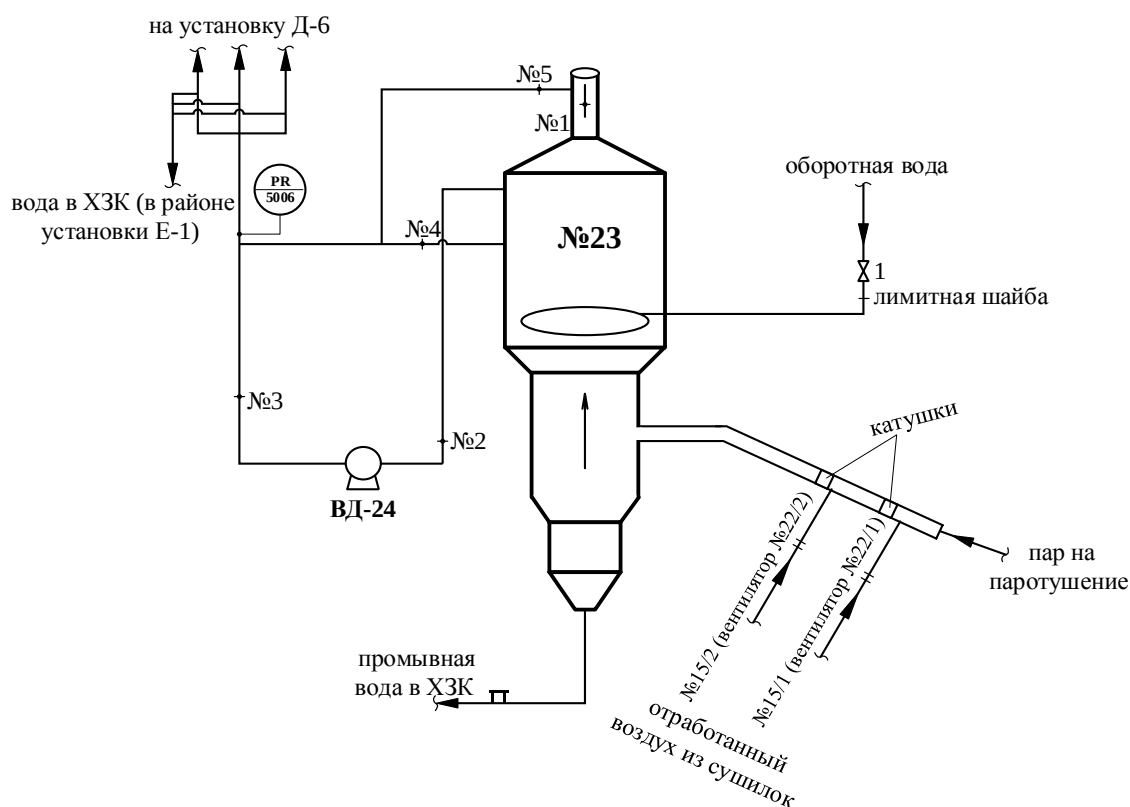


Рисунок 8 – Схема подачи отработанного воздуха из сушильных агрегатов на печи сжигания установки Д-6

«Схемой предусмотрена возможность подачи в магистральные коллектора установки Д-6 воздуха из атмосферы открытием шиберов № 1, установленного наверху влагосмолоотстойника № 23. При неисправности вентилятора № 24 подача атмосферного воздуха на установку Д-6 производится открытием шиберов № 4, 5, установленных на шунтовых коллекторах»[4].

Схема предварительной очистки отработанного воздуха представлена в приложении Б. На коллекторах отработанного воздуха в районе установки Е-1 имеются гидрозатворы, через которые выводится влага и смолообразные продукты, сконденсированные непосредственно в коллекторах. Для тушения возможных загораний в коллекторе отработанного воздуха из сушилок имеется возможность подачи пара.

Характеристики влагосмолоотстойника приведены в таблице 1

Таблица 1 – Технические характеристики влагосмолоотстойника № 23

Технические характеристики	Показатель
Объем	97,6 м ³
Общая высота	20000 мм
Высота отстойника	3600 мм
Диаметр трубы	1600 мм
Расчетное давление	атмосферное
Расчетная температура	160 ⁰ С
Производительность по отработанному воздуху	150000 м ³ /час
Объем	97,6 м ³

Очищенный воздух из влагосмолоотстойника № 23 подается вентилятором № 24 в печи сгорания установки Д-6.

Таблица 2 - Технические характеристики вентилятора № 24

Технические характеристики	Показатель
Производительность	140000 м ³ /час
Тип	Д-20 правого вращения
Напор	250 мм вод. ст.
Число оборотов вентилятора	585 в минуту
Максимально-допустимая температура газов	до 250 ⁰ С
Электродвигатель марки	А-12-52-10
Мощность электродвигателя	250 квт/час
Число оборотов электродвигателя	600 в минуту
Исполнение	нормальное

Тип газоочистной установки - полый форсуночный скруббер.

Показатели газоочистной установки, подлежащие контролю.

Температура газов:

- на входе 80 °С,
- на выходе 30 °С.
-

Таблица 3 – производственный контроль отходящих газов

Загрязняющее вещество		Концентрация загрязняющих веществ, мг/м ³	
код	наименование	до очистки	после очистки
0618	α-метилстирол	48,76	21,904
2902	взвешенные вещества	202,88	81,152

Таблица 4 – Эффективность очистки отходящих газов

Загрязняющее вещество		Эффективность очистки газов %
код	наименование	
0618	α-метилстирол	60
2902	взвешенные вещества	60

В процессе очистки отработанного воздуха с сушильных камер линии выделения синтетического бутадиен-стирольного каучука образуются сточные воды в количестве 20 м³/час.

Характеристика сточных вод:

- температура 30 °С;
- pH – 6,5-8,5;
- взвешенные вещества-150 мл/м³;
- ХПК-100 млО₂/дм³;
- нефтепродукты-5 мл/м³.

Используемое оборудование для предварительной очистки отработанного воздуха от сушильных агрегатов, является устаревшим и малоэффективным.

Недостатком такого способа очистки является отложение осмоленных органических соединений: жирных кислот, летучих, антиоксидантов, талька, масел-наполнителей и других органических соединений на поверхности воздухопроводов, способные к забивке оборудования и самовозгоранию.

«Указанные дополнительные загрязнения в отработанном воздухе, замедляют процесс термической очистки по заявленному способу, вызывают коррозию, забивку смолистыми отложениями, оборудования котловых агрегатов, что снижает производительность установки термического дожига как по объему очищаемого воздуха, так и по выработке пара и горячей воды»[29,30].

2.3 Совершенствование технологии очистки отходящих газов в процессе сушки бутадиен-стирольного каучука

Технической задачей предлагаемого способа и оборудования является повышение предварительной очистки отработанного воздуха от углеводородов в производстве бутадиен-метилстирольного каучука и исключение возможности забивок технологического оборудования котловых агрегатов смолистыми отложениями.

Для достижения поставленной задачи предлагается перед подачей воздуха в топку парогенераторного котла обработать загрязненный воздух водным раствором анионоактивных поверхностно-активных веществ.

В качестве такого водного раствора может использоваться возвратный серум, образующийся после выделения каучука из латекса, или его смесь с промывной водой.

«Возвратный серум, в основном, содержит смеси мыл смоляных и жирных кислот, которые входят в рецепт полимеризации в разных соотношениях, и остатки четвертичных аммониевых солей например «Нитрофлок-213», который используется при выделении каучука из латекса, и после реакции четвертичных аммониевых солей с диспергатором НФ

(лейканолом) их непрореагированное, около 10% от взятого количества, остается в серуме»[12].

Использование водного раствора анионактивных поверхностно-активных веществ, а также отработанного серума или смеси серума и воды после промывки каучука подбирались экспериментально и подтверждаются следующими примерами:

«Пример 1 – В емкость объемом 25 м³ заливается 15 м³ воды, затем добавляется комплексный эмульгатор «Эдискан 1010» (1618) по ТУ №2253-038-00279893-2003 в количестве 200 кг по основному веществу, и при работающей мешалке доводят объем раствора до 20 м³ для получения раствора с содержанием АПАВ – 1±0,1%»[12].

«Сто литров указанного раствора разбавляют в потоке водой в 10 раз и подают на орошение газовой воздушной смеси, подаваемого из сушилки в смесители-ротоклоны. В них происходит предварительная очистка воздуха от загрязнения твердыми частицами, антиоксидантами, крошкой каучука за счет смачивания загрязнений и последующего сброса в канализацию через фильтры. Объемное отношение водного раствора к газовой воздушной смеси - 1:40000»[12].

Предварительно очищенный воздух подают в топку парогенераторного котла и ведут процесс термического окисления при температуре 1000°C. Время пребывания в зоне реакции составляет 0,5-1 сек.

Степень очистки воздуха составляет 98% без отложения в воздухопроводах и котле смолистых загрязнений.

«Пример 2 - способ по примеру 2 осуществляется так же, как в примере 1, только вместо эмульгатора «Эдискан 1010» используют «Эдискан 4115» с соотношением мыла канифоли и жирных кислот 70:30 с молекулярной массой 370»[12].

Водный раствор эмульгатора в количестве 50 л в час разбавляется в 10 раз в потоке водой и подается на орошение газовой воздушной смеси, выходящего из сушилки в ротоклоны, при соотношении потоков 1:20000,

далее газовоздушная смесь поступает в топку парогенераторного котла, где ведут процесс термического окисления при температуре 1200°C.

Пример 3 - приготовление водного раствора осуществляется по примеру 1. Дополнительно в водный раствор, содержащий 200 кг АПАВ «Эдискан 1010» с молекулярной массой 350, вводят 50 кг КТПАВ четвертичной аммониевой соли ВПК-402. Водный раствор подают на смешение с газовоздушной смесью в соотношении 1:40000 и далее по схеме, описанной в предыдущем примере [37].

Пример 4 - процесс осуществляют по примеру 3. Только количество КТПАВ составляет 25 кг и вместо ВПК-402 взят импортный продукт «Суперфлок» - аналог ВПК-402.

Пример 5 - процесс осуществляется с использованием серума, сбрасываемого после бессолевого выделения каучука СКС-30АРК из латекса, с использованием в качестве коагулянта ВПК-402.

Серум, содержащий 150 мг/дм³ суммы мыл смоляных и жирных кислот, 50 мг/дм³ КТПАВ (ВПК-402) подается в количестве 4 м³/час в ротоклон на смешение с 40000 м³ газовоздушной смеси при соотношении серум: газовоздушная смесь - 1:10000 и далее по схеме, описанной в предыдущих примерах.

Пример 6 - Процесс осуществляется с использованием серума, сбрасываемого после бессолевого выделения каучука СКМС-30АРКМ-27 из латекса, с использованием в качестве коагулянта импортного продукта «Суперфлок», содержащего 120 мг/м³ суммы мыл смоляных и жирных кислот с молекулярной массой 350 и 10,0 мг/дм³ «Суперфлок».

Серум подается в количестве 10 м³ в час на объем воздуха, выходящего с двух сушилок в количестве 80000 м³/час. Соответственно соотношение потоков серума и воздуха составляет 1:8000 м³.

Последующие стадии проводятся как в предыдущем примере.

Пример 7 - процесс осуществляется с использованием смеси серума и промывной воды перед ее сбросом в канализацию».

Соотношение серум: вода 1:3, содержание АПАВ (смеси мыл смоляных и жирных кислот) со средней молекулярной массой 350 составляет 100 мг/м^3 и ВПК-402 – 50 мг/м^3 .

«Смесь серума и промывной воды подается из емкости усреднения в ротоклон в количестве $20 \text{ м}^3/\text{час}$ на смешение с газовойоздушной смесью, выходящей из двух сушилок в количестве $80000 \text{ м}^3/\text{час}$, выдерживая соотношение с потоком воздуха на очистку 1:4000. Вода после орошения газовойоздушной смеси сбрасывается из ротоклона через фильтр в канализацию, а очищенный воздух поступает на термический дожиг при температуре 1000°C »[12,28].

Пример 8 (по прототипу) - Отработанный газовойоздушный поток производства эмульсионного маслonaполненного бутадиен-стирольного каучука СКМС-30АРКМ-27, содержащий 250 мг/дм^3 стирола, 20 мг/дм^3 этилбензола, 30 мг/дм^3 суммы жирных кислот с числом углеродных атомов $\text{C}_{10}\text{-C}_{12}$, 35 мг/дм^3 взвешенных частиц каучука и 20 мг/дм^3 аэрозоля нефтяного масла ПН-6 и $0,3 \text{ мг/дм}^3$ сернистых соединений подают по воздуховоду в топку парогенераторного котла. Процесс термического окисления ведут при температуре $1000\text{-}1200^\circ\text{C}$. Время пребывания загрязненного воздуха в зоне реакции 5 с.

«При таких условиях достигается степень очистки загрязненного воздуха от стирола, равная 96%, от трудноокисляемых жирных кислот и аэрозоля масла ПН-6 - 90%. В воздуховоде и оборудовании котлового агрегата наблюдается отложение на поверхности смолянистых загрязнений, а на теплообменной поверхности котла – шлаковых отложений минерального типа»[12].

«Увеличение времени пребывания загрязненного воздуха в зоне реакции до 13-15 секунд повышает полноту очистки воздуха от жирных кислот и аэрозоля масла до 96-98%, но не предотвращает загрязнения поверхности технологического оборудования и котлового агрегата различными отложениями»[12].

Данные примеров представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Условия проведения термической очистки отходящего воздуха после сушки эмульсионных бутадиен-стирольных каучуков

№ при ме ра	Состав воздуха из сушилок до очистки, мг/дм ³	Содер жание АПАВ в воде, мг/дм ³	Содержа ние КТАПАВ в воде, мг/дм ³	Соотношение объемов воды и газовой смеси	Темпе ратура дожига, °С	Состав воздуха после очистки , мг/м ³	Сте пень очист ки, %
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Стирол 250	100	-	1:40000	1000	5,0	98
	Этилбензол 10					0,8	98
	Жирные кислоты 30					0,29	98
	Масло ПН-6к 25					1.0	96
	Сернистые 0.1						
	Каучук 10					0,2	98
2	Стирол 200	50	-	1:20000	1200	2	99
	Этилбензол 20					2.2	99
	Жирные кислоты 20					0.4	98
	Масло ПН-6к 30					0,6	98
	Каучук 20					0,2	99
3	Стирол 500	100	50	1:40000	1200	10	98
	Этилбензол 50					1,0	98
	Жирные кислоты 30					0,3	99
	Масло ПН-6к 20					0,4	98
	Сернистые 0.1					Отс.	100
	Каучук 10					0,2	98
4	Стирол 200	100	25	1:40000	900	2	99
	Этилбензол 20					0,2	99
	Жирные кислоты 20					0,15	98,5
	Каучук 30					0,3	99
	Масло ПН-6 20					0,2	99
	Сернистые 0,1					Отс.	100
5	Стирол 250	150	50	1:10000	1200	5,0	98
	Этилбензол 10					0,1	99
	Жирные кислоты 20					0,3	98
	ВС-30А 20					0,2	99
	Каучук 30					0,6	98
6	Стирол 250	120	10	1:8000	1200	5,0	98
	Этилбензол 10					0,2	98
	Жирные кислоты 20					0,2	99
	Масло ПН-6 20						
	Сернистые 0,1					Отс.	100
	Каучук 10					0,2	98

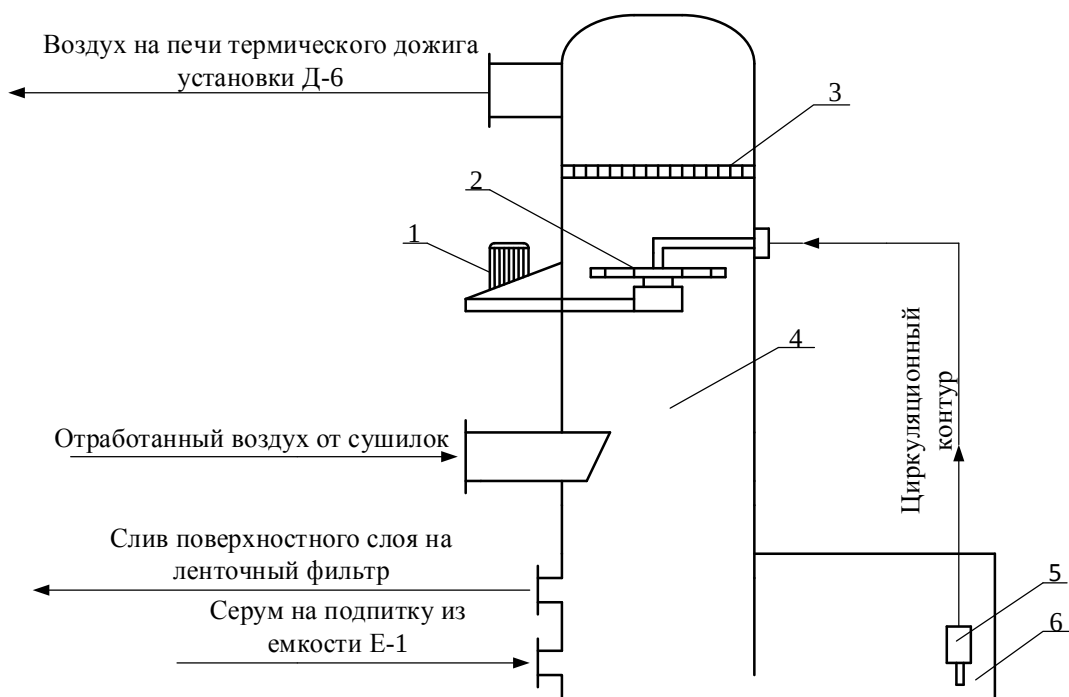
Продолжение таблицы 5

1	2	3	4	5	6	7	8
7	Стирол 250	100	50	1:4000	1000	5,0	98
	Этилбензол 10					0,2	99
	Жирные кислоты 20					0,2	99
	Масло ПН-6 20					0,2	99
	Сернистые 0,1					Отс.	100
	Каучук 10					0,2	98
8	Стирол 250	-	-	-	1200	7,5	97
	Этилбензол 20					2,2	90
	Жирные кислоты 30					3,0	90
	Каучук 30					3,6	88
	Масло ПН-6 25					2,5	90
	Сернистые 0,3					Сл.	100

2.3.1 Технологический процесс предлагаемой схемы утилизации отходящих газов

«Отработанный воздух от сушильных агрегатов поступает в ротационный скруббер тангенциально в нижнюю часть аппарата. Под действием центробежной силы начинается улавливание наиболее крупных частиц газовой фазы» [23,40].

Затем газовый поток поднимается к областям контакта с мелкодисперсной фазой, создаваемой специальными распылительным устройствам – 2. Распылительное устройство в виде распылительного колеса специальной конструкции разбрызгивает подаваемый на колесо серум, за счет вращения, создаваемого с помощью мотор-редуктора – 1. В этих областях создается турбулентный режим, многократно увеличивающий поверхность массообмена и конвективную диффузию. Осуществляется полное улавливание загрязняющих частиц газа созданными каплями жидкости с размером соизмеримым с размером частиц, их дальнейшая коагуляция и сепарация капель (отбрасывание) за счет гидродинамического режима и центробежных сил к стенкам аппарата, откуда пленкой скрубберная жидкость направляется в интегрированную циркуляционную емкость – 6.



- 1 – мотор - редуктор; 2 – распылительное колесо; 3 – каплеотбойник;
 4 – корпус цилиндрический; 5 – циркуляционный насос;
 6 – циркуляционная ёмкость

Рисунок 9 – Принципиальная схема работы ротационного скруббера

Циркуляционный бак устроен таким образом, что скрубберная жидкость, содержащая наибольшее количество смолянистых соединений и жирных кислот, постоянно сливается и отправляется на фильтрацию в ленточный фильтр [11].

Основной объем скрубберной жидкости из нижней части циркуляционной емкости насосом направляется в циркуляционный контур ротационного скруббера с подачей на распылительные устройства. При необходимости в системе обновляется скрубберная жидкость за счет слива и добавления подпиточной жидкости.

Предварительно очищенный воздух подается вентилятором ВД-24 по трем воздуховодам во влагоотделитель 17, где двигаясь по тангенциальному вводу, принимает вращательное движение. При этом жидкие и твердые частицы центробежной силой отбрасываются к стенкам, а затем вдоль стенок

постепенно оседают в коническую часть влагоотделителя, откуда самотеком через смотровой фонарь и гидрозатвор сливаются в химзагрязненную канализацию[13].

Предварительно очищенный воздух, освобожденный от воды и смол, из верхней части влагоотделителя 17 через заслонку поступает на всас вентилятора Д-20/1,2.

Схемой предусмотрена работа вентиляторов Д-20/1,2 на атмосферном воздухе, при этом забор воздуха производится через приоткрытый люк находящийся после заслонки на линии всаса вентилятора Д-20/1,2. При недостаточной производительности вентилятора Д-20/1,2 из-за нехватки загрязненного воздуха из установки Е-2, производится дополнительный забор воздуха из атмосферы через приоткрытый люк на линии всаса вентилятора.

Из линии нагнетания вентиляторов Д-20/1,2 загрязненный воздух с давлением $130 - 480 \text{ кгс/м}^2$ поступает в общий коллектор, а из него подается в горелки печей № 3/1-6.

Схема предлагаемой очистки отработанного воздуха представлена в приложении В.

Вывод: из данных, приведенных в примерах и таблице 5, видно, что применение заявляемого способа позволяет осуществлять обезвреживание отработанного воздуха со степенью очистки 98-99% не только от легкоокисляемого альфаметилстирола, но и от коррозионно-активных жирных кислот, взвешенных полимерных частиц, серы, смолистых и минеральных загрязнений, не увеличивая при этом время пребывания очищаемого воздуха в топке парогенераторного котла, достичь высокой производительности и экономичности установки термического обезвреживания загрязненного воздуха.

3 Расчетная часть

3.1 Расчет материального баланса предлагаемой схемы газоочистки

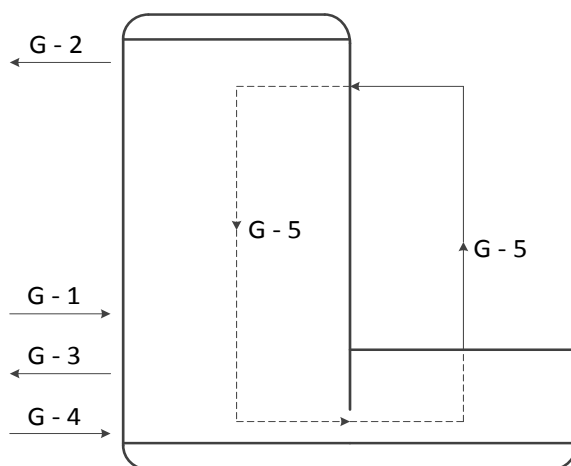


Рисунок 10 – Схема материальных потоков

G 1 – воздух на очистку,

G 2 – воздух после очистки,

G 3 – слив поверхностного слоя,

G 4 – серум на подпитку,

G 5 – циркуляция серума на орошение.

$$G1+G4+G5=G2+G3+G5$$

Расход газа – 170000 м³/ч;

Температура газов на входе в скруббер – 80 °С;

Скорость газа по сечению аппарата - 12,4 м/с;

Начальная концентрация пыли – 0,202 мг/м³;

Концентрация альфа-метилстирола – 50 мг/м³;

Плотность воздуха при 0°С=1,293 кг/м³,

Плотность воздуха при 80 °С= $\frac{273}{273+80} \cdot 1,293 = 1$ кг/м³.

Степень очистки 97%

Рассчитаем массу газа на входе в скруббер:

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

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

ρ_{Γ} – плотность газа $\text{кг}/\text{м}^3$.

$$M_{\Gamma} = 170000 \cdot 1 = 170000 \text{ кг/ч.}$$

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 $\text{кг}/\text{м}^3$.

$$M_{\text{В}} = 20 \cdot 1000 = 20000 \text{ кг/ч.}$$

Определим массовый расход пыли:

$$G_{\Pi} = M_{\Gamma} \cdot C, \quad (3)$$

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

$$G_{\Pi} = 170000 \cdot 0,000202 = 34,34 \text{ кг/ч.}$$

Находим массу α – метилстирола по формуле [3];

$$M_{\text{C}_9\text{H}_{10}} = 170000 \cdot 4,8 \cdot 10^{-5} = 8,16 \text{ кг/ч,}$$

где C – концентрация альфа – метилстирола.

Механический унос воды составляет 1%;

$$20000 \cdot 0,01 = 200 \text{ кг/ч.}$$

Масса влажного воздуха равна:

$$169957,5 + 200 = 170157,5 \text{ кг/ч.}$$

Масса веществ в шламе газоочистки:

$$M_{\text{в}} = G_{\text{х}} \cdot 0,97, \quad (4)$$

где $G_{\text{х}}$ – концентрация веществ кг/м³;

0,97 – степень очистки, %.

Масса пыли в шламе равна:

$$M_{\text{п}} = 34,34 \cdot 0,97 = 33,3 \text{ кг/ч.}$$

Масса альфа – метилстирола в шламе равна:

$$M_{\text{C}_9\text{H}_{10}} = 8,16 \cdot 0,97 = 7,915 \text{ кг/ч.}$$

Таблица 6 – Материальный баланс предлагаемой схемы газоочистки

Приход				Расход			
№	Поток	Кг/ч	Т/год	№	Поток	Кг/ч	Т/год
1	Газы на очистку, в том числе:	170000	1489200	1	Сбрасываемые газы, в том числе:	170158,785	1490590,9566
	1.1 Воздух	169957,5	1488827,5		1.1 Воздух влажный	170157,5	1490579,7
	1.2 Пыль	34,34	300,8184		1.2 Пыль	1,03	9,0228
	1.3 C ₉ H ₁₀	8,16	71,4816		1.3 C ₉ H ₁₀	0,255	2,2338
2	Серум	20000	175200		Шлам газоочистки, в том числе:	19841,215	173809,0434
				2			
					2.1 Серум	19800	173448
					2.2 Пыль	33,3	291,708
					2.3 C ₉ H ₁₀	7,915	69,3354
Всего:		190000	1664400	Всего:		190000	1664400

Таблица 7 – Материальный баланс существующей схемы газоочистки

Приход				Расход			
№	Поток	Кг/ч	Т/год	№	Поток	Кг/ч	Т/год
1	Газы на очистку, в том числе:	170000	1489200	1	Сбрасываемые газы, в том числе:	170174,5	1490728,62
	1.1 Воздух	169957,5	1488827,5		1.1 Воздух влажный	170157,5	1490579,7
	1.2 Пыль	34,34	300,8184		1.2 Пыль	13,736	120,32736
	1.3 C ₉ H ₁₀	8,16	71,4816		1.3 C ₉ H ₁₀	3,264	28,59264
2	Вода	20000	175200		Шлам газоочистки, в том числе:	19825,5	173671,38
				2			
					2.1 Вода	19800	173448

Продолжение таблицы 7

				2.2 ПЫЛЬ	20,604	180,49104
				2.3 C ₉ H ₁₀	4,896	42,88896
Всего:	190000	1664400	Всего:	190000	1664400	

3.2 Расчет теплового баланса предлагаемой схемы газоочистки

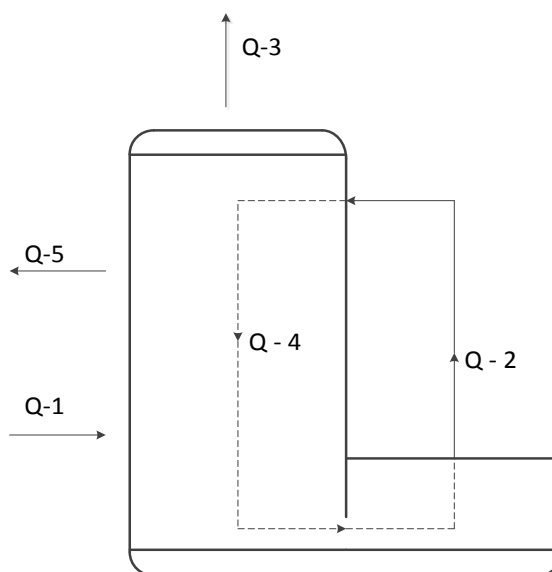


Рисунок 11 – Схема тепловых потоков

$$Q_1 + Q_2 = Q_3 + Q_4 + Q_5$$

где – Q_1 – приход тепла с отходящим воздухом;

Q_2 – приход тепла с циркулирующей водой;

Q_3 – расход тепла с отходящим воздухом;

Q_4 – расход тепла с циркулирующей водой;

Q_5 – теплопотери.

температура воздуха на входе в скруббер 80 °С;

температура воздуха на выходе 30 °С.

$$Q = C \cdot M \cdot T, \quad (5)$$

где C – теплоемкость, кДж/кг град;

M – масса ;

T – температура ;

$$Q_1 = 1,009 \cdot 170000 \cdot 80 = 13722400 \text{ кДж/ч или } 3811,8 \text{ кВт}$$

где – 1,009 теплоемкость воздуха при температуре 80 °С.

$$Q_2 = 4,19 \cdot 20000 \cdot 30 = 2514000 \text{ кДж/ч или } 698,3 \text{ кВт}$$

где – 4,19 теплоемкость серума при температуре 30 °С.

$$Q_{\text{об.пр}} = 13722400 + 2514000 = 16236400 \text{ кДж/ч или } 4510,1 \text{ кВт.}$$

$$Q_3 = 1,009 \cdot 170000 \cdot 30 = 5145900 \text{ кДж/ч или } 1429,4 \text{ кВт.}$$

Принимаем теплотери равными 3%, тогда:

$$Q_5 = 16236400 \cdot 0,03 = 487092 \text{ кДж/ч или } 135,3 \text{ кВт.}$$

$$Q_4 = Q_{\text{об.пр}} - (Q_3 + Q_5), \quad (6)$$

$$Q_4 = 16236400 - (5145900 + 487092) = 10603408 \text{ кДж/ч. или } 2945,4$$

Сведем данные в таблицу 8.

Таблица 8 – Тепловой баланс

Приход тепла	кВт	Расход тепла	кВт
Поступающая с отходящим воздухом	3811,8	Уходящая с отходящим воздухом	1429,4
Поступающая с циркулирующим серумом	698,3	Уходящая с циркулирующим серумом	2945,4
		Теплотери	135,3
Всего:	4510,1	Всего:	4510,1

3.3 Конструктивный расчет аппарата

Рассчитываем площадь сечения скруббера по заданному расходу газа:

$$S = \frac{Q_{\Gamma}}{V}, \quad (7)$$
$$S = \frac{170000}{(3600 \cdot 12,4)} = 3,8 \text{ м}^2,$$

где S – площадь сечения скруббера, м^2 ;

Q_{Γ} – расход газа, $\text{м}^3/\text{с}$;

V – скорость сечения аппарата, м^2 .

Скруббер представляет собой цилиндрическую конструкцию, ее диаметр равен:

$$D = \left(\frac{4S}{\pi} \right)^{0,5}, \quad (8)$$
$$D = \left(\frac{4 \cdot 3,8}{3,14} \right)^{0,5} = 2,2 \text{ м}.$$

Соотношение высоты к диаметру скруббера принимаем 4:1

$$H = k \cdot D, \quad (9)$$
$$H = 4 \cdot 2,2 = 8,8 \text{ м}.$$

Принимаем высоту 8,6 м.

Рассчитываем улавливающую степень по дисперсным примесям и пыли

Проверим эффективность улова для частиц диаметром 5мкм.

Первая стадия – осаждение частиц на нижней смоченной поверхности.

Для щелевых решеток:

$$\eta_1 = 0,41 \cdot k_1 - 0,148 \cdot k_1^2, \quad (10)$$

$$\text{где } k_1 = \frac{\pi}{9} \text{Stk} \cdot f(1 - \tau), \quad (11)$$

где τ - доля свободного сечения тарелки, занятая жидкостью плотность газа на входе:

$$\rho = 1,293 \cdot \frac{T}{T_0} = 1,293 \cdot \frac{273}{273 + 80} = 1 \text{ кг/м}^3.$$

Массовые расходы газа и жидкости:

$$W_r = 170000 \cdot 1 = 170000 \text{ кг/ч.}$$

Расход жидкости:

$$W_{\text{ж}} = 20000 \text{ кг/ч при плотности жидкости } \rho = 997 \text{ кг/м}^3.$$

$$\tau = \frac{[(W_{\text{ж}}/W_r)^2 (\rho_r/\rho_{\text{ж}} \cdot \xi \cdot \alpha^2)]^{1/3}}{1 + [(W_{\text{ж}}/W_r)^2 (\rho_r/\rho_{\text{ж}} \cdot \xi \cdot \alpha^2)]^{1/3}}, \quad (12)$$

где $\alpha=0,62$ – коэффициент расхода при истечении жидкости 4

$$\tau = \frac{[(170000/20000)^2 (1,17/997 \cdot 1,4 \cdot 0,62^2)]^{1/3}}{1 + [(170000/20000)^2 (1,17/997 \cdot 1,4 \cdot 0,62^2)]^{1/3}} = 0,029.$$

$$k_1 = \frac{3,14}{9} 0,21 \cdot 0,4(1 - 0,028) = 0,04.$$

$$\eta_1 = 0,451 \cdot 0,04 - 0,148 \cdot 0,04^2 = 0,018.$$

Критерий Стокса:

$$\text{Stk} = \frac{w \cdot d_0^2 \cdot \rho}{\mu \cdot 1}, \quad (13)$$

ширина щели =0,02м.

Проверим по минимальным частицам пыли 5мкм:

$$Stk = \frac{4,5 \cdot (5 \cdot 10^{-6})^2}{0,018 \cdot 10^{-3} \cdot 0,02} = 0,3.$$

Вторая стадия

$$\eta_2 = 0,93 \left(q \frac{Stk}{f} \right)^{0,1}, \quad (14)$$

где: q - удельное орошение, кг жидкости на 1 кг газа

$$q = \frac{20000}{170000} = 0,118 \text{ кг жидкости на 1 кг газа;}$$

$$\eta_2 = 0,93 \left(0,118 \frac{0,3}{0,4} \right)^{0,1} = 0,728.$$

Третья стадия – улавливание в слое инерционного распыления:

$$\eta_3 = 1 - \exp \left(-a \cdot Stk \frac{H_{дин}}{\delta} \right), \quad (15)$$

$$\text{где: } a = \frac{d_3 + \delta}{g \sqrt{3(2 \cdot d_3 + \delta)}} = \frac{0,002 + 0,0027}{9,81 \sqrt{3(2 \cdot 0,002 + 0,0027)}} = 0,041.$$

Критерий для Стокса = 0,041

$H_{дин}$ - динамическая высота слоя распыления

$$H_{дин} = 0,7 \text{ м,}$$

$$\eta_3 = 1 - 2,72 \left(-0,041 \cdot 0,3 \frac{0,7}{0,002} \right) = 0,957.$$

Общая функциональная степень улавливания составит

$$\eta = \eta_1 + (1 - \eta_1) \cdot \eta_2 + (1 - \eta_1 - \eta_2) \cdot \eta_3, \quad (16)$$

$$\eta = 0,018 + (1 - 0,018) \cdot 0,728 + (1 - 0,018 - 0,728) \cdot 0,957 = 0,976.$$

Тогда получаем с учетом эффективности параметры на выходе
альфа-метилстирол:

$$48,76(1 - \eta) = 48,76(1 - 0,976) = 1,17,$$

взвешенные вещества:

$$202,78(1 - \eta) = 202,78(1 - 0,976) = 4,87 .$$

Рассчитываем параметры вихревых и контактных завихрителей

Принятые исходные данные:

Выпуклость контактной зоны, $\rho_0 = 0,025$ м;

Число лопаток завихрителя, $n = 12$ шт;

Толщина лопатки, $\delta = 0,002$ м;

Скорость газа в сечении тарелки, $W_T = 18$ м/с.

$$W_T = \frac{Q}{3600 \cdot S_T}, \quad (17)$$

Радиус тарелки и радиус ВКУ в верхней части, r_1 ,м,

$$r_1 = \sqrt{\frac{Q}{3600 \cdot \pi \cdot W_T}}, \quad (18)$$
$$r_1 = \sqrt{\frac{170000}{3600 \cdot 3,14 \cdot 18}} = 0,914 \text{ м.}$$

принимаем $r_1 = 0,9$ м.

Площадь живого сечения тарелки, S_T , м^2 ;

$$S_T = \pi r_1^2, \quad (19)$$
$$S_T = 3,14 \cdot 0,9^2 = 2,54 \text{ м}^2.$$

Высота контактной зоны завихрителя, м.,

$$H = 2r_1, \quad (20)$$
$$H = 2 \cdot 0,9 = 1,8 \text{ м.}$$

Радиус нижней части контактного устройства, м.,

$$r_2 = 0,6r_1, \quad (21)$$

$$r_2 = 0,6 \cdot 0,9 = 0,54 \text{ м.}$$

Максимальный радиус вихревого контакта, $r_{\text{вх}}$, м.,

$$r_{\text{вх}} = r_1 + \rho_0, \quad (22)$$

$$r_{\text{вх}} = 0,9 + 0,025 = 0,925 \text{ м.}$$

Коэффициент гидродинамического пережима,

$$Z_1 = \frac{r_{\text{вх}}}{r_1}, \quad (22)$$

$$Z_1 = \frac{0,925}{0,9} = 1,03.$$

На рисунке 10 приведена расчетная схема вихревого устройства

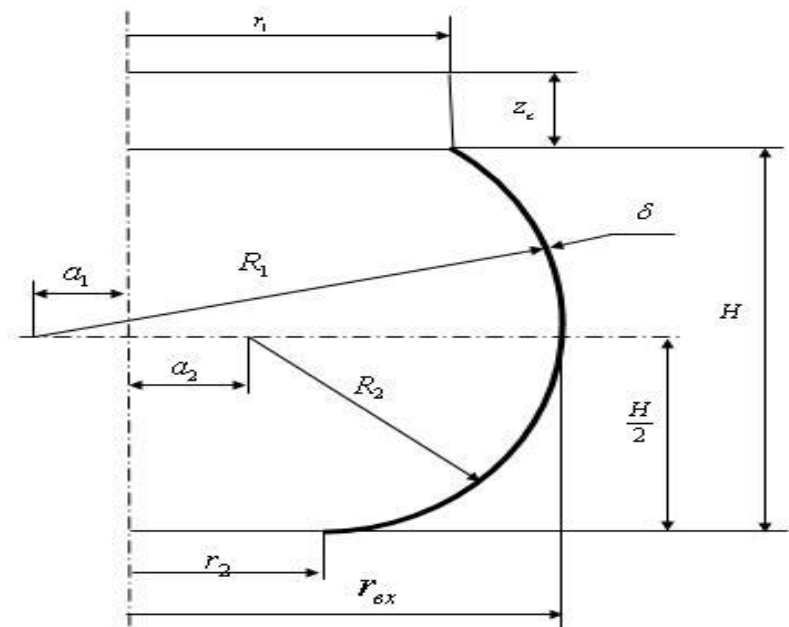


Рисунок 11 – Расчётная схема вихревого устройства.

Рассчитываем геометрию контактного устройства [15]

Радиус кривизны пластин в верхней части завихрителя;

$$R_1 = \sqrt{\left[\frac{r_1}{2}(1 - Z_1) + \frac{H^2}{8r_1(Z_1 - 1)}\right]^2 + \left(\frac{H}{2}\right)^2}, \text{ м.}, \quad (24)$$
$$R_1 = \sqrt{\left[\frac{0,9}{2}(1 - 1,03) + \frac{1,8^2}{8 \cdot 0,9(1,03 - 1)}\right]^2 + \left(\frac{1,8}{2}\right)^2} = 16,2 \text{ м.}$$

Радиус кривизны пластин в нижней части завихрителя;

$$R_2 = \sqrt{\left[\frac{r_2}{2} - \frac{r_1 Z_1}{2} + \frac{H^2}{8(r_1 Z_1 - r_2)}\right]^2 + \left(\frac{H}{2}\right)^2}, \text{ м.}, \quad (25)$$
$$R_2 = \sqrt{\left[\frac{0,54}{2} - \frac{0,9 \cdot 1,03}{2} + \frac{1,8^2}{8(0,9 \cdot 1,03 - 0,1)}\right]^2 + \left(\frac{1,8}{2}\right)^2} = 1,53 \text{ м.}$$

Длина пластин в верхней части завихрителя;

$$l_1 = R_1 \arcsin \frac{H}{2R_1}, \text{ м.}, \quad (26)$$
$$l_1 = 16,2 \arcsin \frac{1,8}{2 \cdot 16,2} = 0,9 \text{ м.}$$

Длина пластин в нижней части завихрителя;

$$l_2 = R_2 \arcsin \frac{H}{2R_2}, \text{ м.}, \quad (27)$$
$$l_2 = 1,53 \arcsin \frac{1,8}{2 \cdot 1,53} = 0,96 \text{ м.}$$

Общая длина развёртки пластин;

$$l = l_1 + l_2, \text{ м,} \quad (28)$$

$$l = 0,9 + 0,96 = 1,86 \text{ м.}$$

Координаты центров радиусов кривизны пластин R_1 и; R_2

$$a_1 = 0,5r_1(Z_1 + 1) - \frac{H^2}{8r_1(Z_1 - 1)} \text{ м,} \quad (29)$$

$$a_1 = 0,5 \cdot 0,9(1,03 + 1) - \frac{1,8^2}{8 \cdot 0,9(1,03 - 1)} = -15,3 \text{ м.}$$

$$a_2 = 0,5(r_1Z_1 + r_2) - \frac{H^2}{8(r_1Z_1 - r_2)} \text{ м,} \quad (30)$$

$$a_2 = 0,5(0,9 \cdot 1,03 - 0,54) - \frac{1,8^2}{8(0,9 \cdot 1,03 - 0,54)} = -0,85 \text{ м.}$$

Площадь щелей завихрителя контактного устройства;

$$S_{\text{щ}} = 0,5n \left(1 - \cos \frac{2\pi}{n} \right) \times$$

$$\times \left[\frac{H}{2} \left(\sqrt{R_1^2 - \left(\frac{H}{2} \right)^2} + \sqrt{R_2^2 - \left(\frac{H}{2} \right)^2} \right) + R_1^2 \arcsin \frac{H}{2R_1} + R_2^2 \arcsin \frac{H}{2R_2} + H(a_1 + a_2) \right] - n\delta l, \quad (31)$$

$$S_{\text{щ}} = 0,5 \cdot 12 \left(1 - \cos \frac{2 \cdot 180}{12} \right) \times$$

$$\times \left[\frac{1,8}{2} \left(\sqrt{16,2^2 - \left(\frac{1,8}{2} \right)^2} + \sqrt{1,54^2 - \left(\frac{1,8}{2} \right)^2} \right) + \frac{16,2^2 \arcsin 0,32}{2 \cdot 16,2} + \frac{1,54^2 \arcsin 1,8}{2 \cdot 1,54} + \right.$$

$$\left. + 1,8(-15,3 - 0,85) \right] - 12 \cdot 0,002 \cdot 1,86 = 2,16 \text{ м}^2.$$

Коэффициент крутки потока в устройстве определяется как отношение:

$$A = \frac{S_{\text{щ}}}{S_{\text{тар}}}, \quad (32)$$

$$A = \frac{2,16}{2,54} = 0,85.$$

Скорость газа в щелях завихрителя, м/с.,

$$W_{\text{щ}} = \frac{Q}{S_{\text{щ}} \cdot 366}, \quad (33)$$

$$W_{\text{щ}} = \frac{170000}{2,16 \cdot 366} = 21,8 \text{ м/с.}$$

Расчётная скорость газа в щелях завихрителя входит в интервал оптимальных скоростей работы вихревых устройств (15-25м/с).

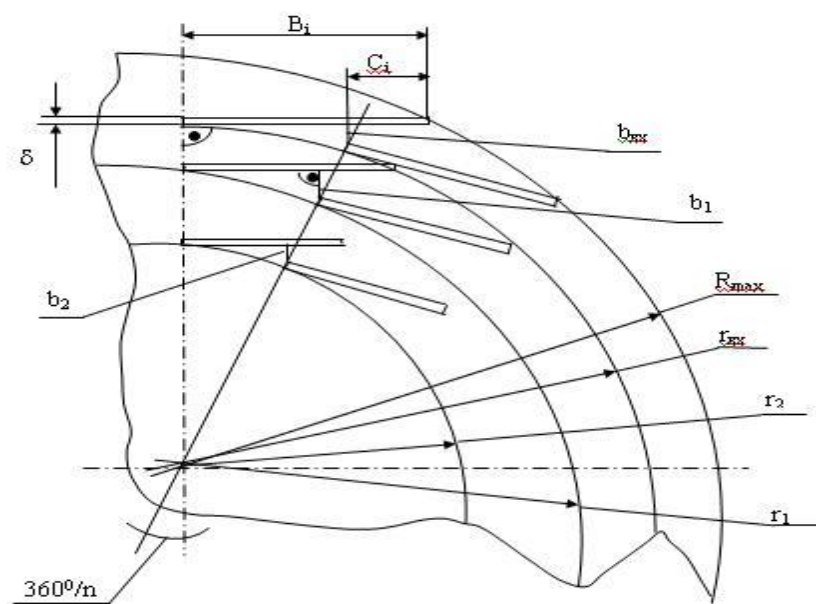


Рисунок 12 – Расположение тангенциальных лопаток завихрителя

Чертежи предлагаемого скруббера и разбрызгивающего устройства представлены в приложениях Г,Д.

3.4 Обоснование способа оптимизации процесса очистки отходящих газов

Таблица 9 – Краткая характеристика базового и предлагаемого варианта

Базовый вариант	Предлагаемый вариант
Оборудование устаревшее и малоэффективное, при увеличении производственных мощностей не выдержит предлагаемых нагрузок	Оборудование высокоэффективное, имеется запас производительности, очистка воздуха достигает 97%

Проведем расчет капитальных затрат на оборудование

$$K_{\text{П.об}} = K_{\text{об}} + K_{\text{соп}} , \quad (34)$$

где: $K_{\text{П.об}}$ – капитальные затраты на оборудование;

$K_{\text{об}}$ – прямые затраты на оборудование;

$K_{\text{соп}}$ – сопутствующие затраты на оборудование

Таблица 10 – Прямые капитальные вложения в основное оборудование

Наименование оборудования	Количество	Стоимость оборудования, руб.	
		За ед.	всего
1	2	3	4
Скруббер	1	3200000	3200000
Итого:	1	3200000	3200000

Расчет сопутствующих капитальных вложений.

Расчет складывается из следующих затрат:

- проектирование новой техники и технологии, $K_{\text{пр}}$;
- доставка приобретенного оборудования, $K_{\text{дост}}$;
- монтаж оборудования, $K_{\text{монт}}$;
- обвязка оборудования трубопроводами, $K_{\text{труб}}$;
- оснащение контрольно-измерительными приборами (КИП), $K_{\text{кип}}$;
- пуско-наладочные работы, $K_{\text{пн}}$;
- демонтаж заменяемого оборудования, $K_{\text{дем}}$.

Проведем расчет затрат на проектирование по формуле:

$$K_{\text{пр}} = T_{\text{пр}} \cdot Z_{\text{Кчас}}, \quad (35)$$

где: $T_{\text{пр}}$ – трудоемкость проектирования техники, технологии, час;

$Z_{\text{Кчас}}$ – часовая заработная плата конструктора, руб.

Трудоемкость проектирования для расчетов принимаем условно 640 часов. Для инженерно-технических работников устанавливается оклад (O_k).

Часовая заработная плата конструктора определяется по формуле:

$$Z_{\text{Кчас}} = \frac{O_k}{168}, \quad (36)$$

где: 168 – среднемесячный часовой фонд конструктора;

$$Z_{\text{Кчас}} = \frac{20000}{168} = 119 \text{ руб.}$$

Затраты на проектирование рассчитываются по формуле[35]:

$$K_{\text{пр}} = 640 \cdot 119 = 76160 \text{ руб.}$$

Остальные затраты принимаются по наибольшим нормам от стоимости оборудования в процентах.

- доставка приобретенного оборудования, $K_{\text{дост}} - 2\%$;
- монтаж оборудования, $K_{\text{монт}} - 10\%$;
- обвязка оборудования трубопроводами, $K_{\text{труб}} - 8\%$;
- оснащение (КИП), $K_{\text{кип}} - 3\%$;
- пуско-наладочные работы, $K_{\text{пн}} - 2\%$;
- демонтаж заменяемого оборудования, $K_{\text{дем}} - 5\%$.

Капитальные сопутствующие затраты на оборудование рассчитываются по формуле:

$$K_{\text{соп}} = K_{\text{пр}} + K_{\text{об}} \frac{K_{\text{дост}} + K_{\text{монт}} + K_{\text{труб}} + K_{\text{кип}} + K_{\text{пн}} + K_{\text{дем}}}{100\%} - K_{\text{ост}}, \quad (37)$$

Оборудование после демонтажа отправляется на склад без реализации, поэтому $K_{\text{ост}}=0$.

$$K_{\text{соп}} = 76160 + 3200000 \frac{2 + 10 + 8 + 3 + 2 + 5}{100\%} = 1036160 \text{ руб.}$$

Для монтажа нового оборудования не требуется строительство здания, поэтому отсутствуют затраты на капитальное строительство, а так же нет затрат на модернизацию оборудования.

Общая сумма капитальных вложений рассчитывается по формуле:

$$K_{\text{ноб}} = K_{\text{об}} + K_{\text{соп}} \quad (38)$$

$$K_{\text{ноб}} = 3200000 + 1036160 = 4236160 \text{ руб.}$$

Экономия водных ресурсов составит:

$$\Delta_{\text{в}} = 20 \cdot 8424 = 168480 \text{ м}^3/\text{год}$$

Экономический эффект с учетом затрат на воду, водоотведения и очистку стоков:

$$\text{Э}_\text{ф} = 168480(1580,440 + 5620,166) = 1213158 \text{ руб/год.}$$

Цены на энергоресурсы указаны в приложении Е.

Вывод: в расчетной части был составлен материальный баланс имеющейся и предлагаемой технологии, тепловой баланс, конструктивный расчет аппарата, расчет распыливающего устройства.

В обосновании способа оптимизации технологии очистки отходящих газов был рассчитан экономический эффект от внедряемых мероприятий.

Полученные результаты соответствуют целям и задачам бакалаврской работы. Предлагаемая технология и оборудование по очистке отходящих газов, полностью отвечает экологической политике предприятия.

Заключение

В бакалаврской работе рассмотрен процесс термической очистки отходящих газов от сушильных агрегатов цеха Е-2 «ООО Тольяттикаучук» и были получены следующие результаты:

1) Анализ существующего производства, на установке сушки, прессования синтетического бутадиен-стирольного каучука и приготовления раствора серной кислоты (УСП СБСК) ООО «Тольяттикаучук» показал, что отработанный воздух от сушильных агрегатов содержит помимо альфаметилстирола и других летучих углеводородов, токсичные органические соединения, смолистые и взвешенные вещества, которые замедляют процесс термической очистки по заявленному способу и вызывают коррозию, забивку смолистыми отложениями оборудования котловых агрегатов, что снижает производительность установки термического дожига как по объему очищаемого воздуха, так и по выработке пара и горячей воды»

2) Существующий способ предварительной очистки отработанного воздуха устарел. В результате имеющейся технологии образуются химически загрязненные стоки в количестве $20\text{ м}^3/\text{час}$, а также потребляется свежая вода в количестве $20\text{ м}^3/\text{час}$.

3) Использование предлагаемой технологии с применением высокоэффективного оборудования, существенно снизит количество отложений смолянистых и жирных кислот на поверхности воздухопроводов и котловых агрегатов, приводящие к его забивке и снижению производительности, а так же требующие трудоемкой, дорогостоящей чистке. Благодаря замкнутому циркуляционному контуру с использованием возвратного серума, отсутствуют химзагрязненные стоки и потребность в свежей воде.

Экономия водных ресурсов составит $168\,480\text{ м}^3/\text{год}$.

Экономия от внедрения предложенных мероприятий составит $1\,213\,158\text{ руб}/\text{год}$.

Список используемых источников

1. Ветошкин А. Г. Инженерная защита атмосферы от вредных выбросов: учеб.-практ. пособие / А. Г. Ветошкин. - Москва : Вологда : Инфра-Инженерия, 2016. - 316 с. : ил. - ISBN 978-5-9729-0128-9. (дата обращения:29.11.2019)
2. Константинов В. М. Экологические основы природопользования, 15-е изд. - М.: 2015. - 240 с.
3. Официальный сайт ООО «СИБУР Тольятти»[Электронный ресурс] URL:<https://www.sibur.ru/togliatti/>. (Дата обращения:20.11.2019).
4. Технологический регламент УСП СБСК ООО СИБУР Тольятти ТР-Е-2-31-15 Коагуляция бутадиен стирольного каучука утвержден 15.07.2015 (ред. от 15.03.2020).
5. Технологический регламент ООО СИБУР Тольятти. ТР-Е-2-08-17 Производство антиоксиданта ВС-1, утвержден 01.02.2017.
6. Технологический регламент ООО СИБУР Тольятти ТР-Е-2-27-15 Выделения и сушки бутадиен-метилстирольного каучука утвержден 27.03.2015 (ред. от 19.02.2018).
7. Технологический регламент ООО СИБУР Тольятти ТР-Е-1-01-13 Получение латекса СКМС-30АРК утвержден 16.12.2014 (ред. от 04.04.2018)
8. Калыгин В.Г. Промышленная экология. Защита окружающей среды. Учебное пособие. Издательский центр Москва 2016г.
9. Баранов Д.А. Процессы и аппараты химической технологии. Учебное пособие/ Санкт-Петербург: Лань, 2020. 408с.
10. Пикалов Е.С. Процессы и аппараты защиты окружающей среды. Механические и физические методы очистки промышленных выбросов в атмосферу и гидросферу : учеб. пособие / Пикалов Е. С; Владим. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых. – Владимир : Изд-во ВлГУ, 2015. – 79 с. – ISBN 978-5-9984-0560-0

11. Процессы и аппараты химической технологии. Общий курс. В двух книгах. Книга 1/8-е издание., стер. – СПб.: издательство «Лань», 2019.-916 с. (Учебники для вузов. Специальная литература).

12. Патент 2564341 С2 РФ. Способ термической очистки отработанного воздуха производства эмульсионных каучуков от углеводов // Полуэктов П.Т., Папков В.Н., Власова Л.А. (РФ), 27.09.2015: Федеральное государственное унитарное предприятие «Ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени Научно-исследовательский институт синтетического каучука имени академика С.В. Лебедева» (ФГУП «НИИСК»). Бюл.№27 URL:<https://www1.fips.ru/Archive/PAT/2015FULL/2015.09.27/>. (Дата обращения 07.12.2019)

13. Усманова Р.Р., Заиков Т.Е. Экспериментальное исследование гидравлических характеристик закрученных дисперсных потоков в газопромывателе //Вестник Казанского технологического университета: 2015. Т. 18. № 1. С.193-198.

14. Литвинова Н. А. Аппараты пыли и газоочистки воздушной среды: учебное пособие; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тюменский индустриальный университет». - Тюмень : ТИУ, 2017. - 134 с. : ил., табл.; 21 см.; ISBN 978-5-9961-1456-6

15. Шиляев М.И., Хромова Е.М. Методы расчёта систем комплексной пыли и газоочистки - Москва : АСВ, 2018. - 194 с.

16. Фролова Е.А., Маркелова Н.Л. Малоотходные и ресурсосберегающие технологии в химии и нефтехимии : [учебно-методическое пособие]; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ярославский государственный технический университет». - Ярославль : Ярославский государственный технический университет, 2019. - 116 с.

17. Воротынцев В. М., Дроздов П. Н., Малышев В. М. Устройство аппаратов для гидродинамических и тепловых процессов в химической технологии: учебное пособие для студентов специальностей 11.04.04; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Нижегородский государственный технический университет им. Алексеева Р. Е.». - Нижний Новгород : Нижегородский гос. технический ун-т им. Алексеева Р. Е., 2018. - 130, [1] с. : ил., табл.; 20 см.; ISBN 978-5-502-01056-6 : 25 экз.

18. Катин В. Д., Ахтямов М. Х., Долгов Р. В. Расчёт и подбор рациональных конструкций пылезолоулавливающих устройств; Министерство транспорта Российской Федерации, Федеральное агентство железнодорожного транспорта, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Дальневосточный государственный университет путей сообщения», Кафедра «Иностранные языки и межкультурная коммуникация». - Хабаровск : Издательство ДВГУПС, 2020. - 150 с.; ISBN 978-5-262-00869-8 : 50 экз.

19. Рябов В. Г., Чудинов А. Н. Переработка углеводородных газов: учебное пособие; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет». - Пермь : Издательство Пермского национального исследовательского политехнического университета, 2019. - 98 с. : ил.; ISBN 978-5-398-02179-0 : 30 экз.

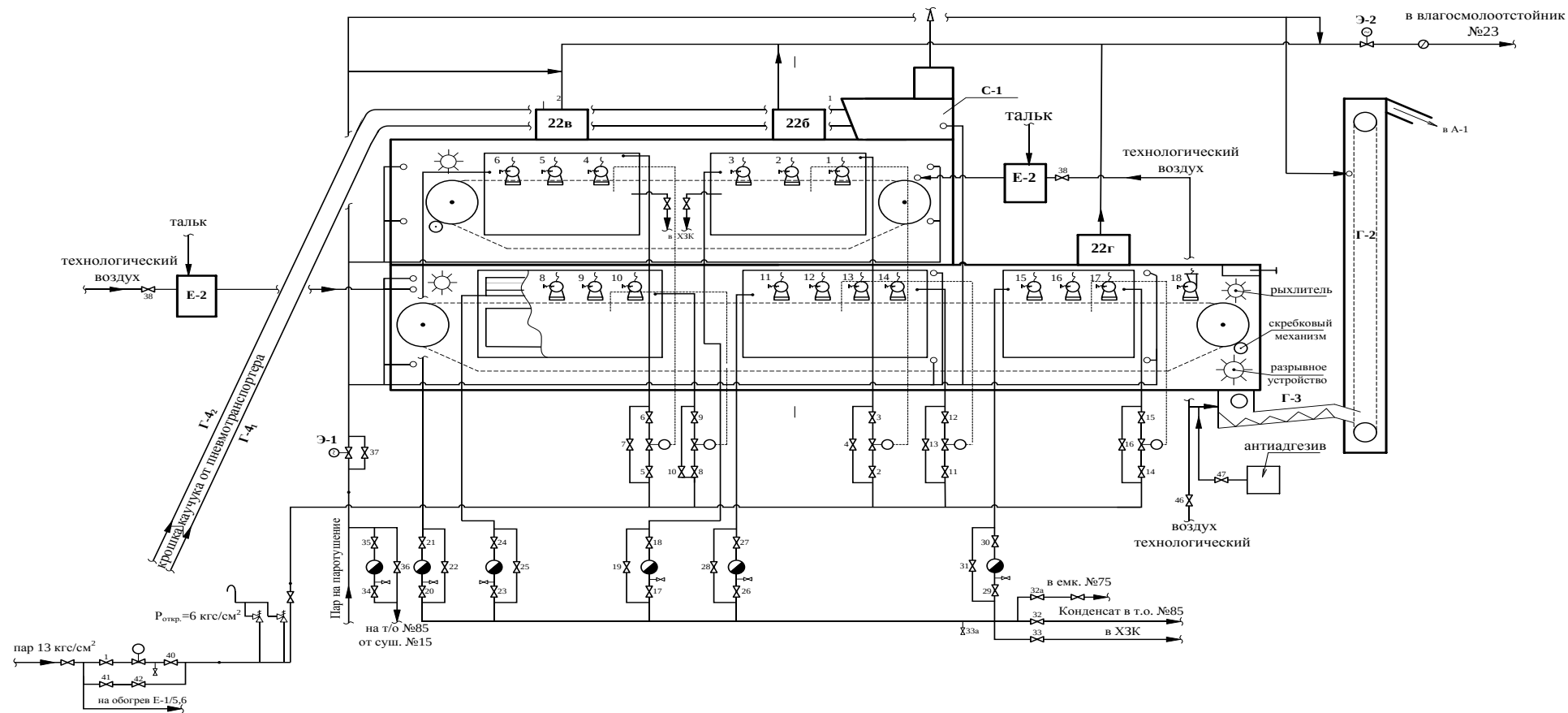
20. A. Purmohammadbacher, E. Jamshidi, H. Ale-Ebrahim, B. Dabir, M. Mehrabani-Zeynabad. Simultaneous removal of gaseous pollutants using a new wet swirl scrubber. Chemical technology and processing: intensification of processes 2015, 50 (8), 773-779. DOI: 10.1016 / j.ccp.2015.06.00.001.

21. 21 Ali M, Yang S, Sun Z, Gu X, Mehbub K. Efficiency of removing dust particles from a Venturi scrubber. Anne Nookle Energy. 2015; 54: 178 - 183.

22. Tianqi Tang, Yurong He, Anxing Ren, and Tianyu Wang, experimental study and numerical simulation of the DEM behavior of the flow of dry / wet particles in a jet layer, a study of industrial and technical chemistry, 10.1021 / acs.iecr.9b02448, (2019).
23. Zarei, E. Jamshidi and A. Afshar Ebrahimi, PVC dust removal from the air by a new dynamical scrubber, Chemical Engineering and Processing: Process Intensification, 10.1016/j.cep.2015.08.023, 49, 11, (1193-1198), (2015).
24. P. Deutz, D. Lyons, J. Bi (Eds.), International Perspectives on Industrial Ecology, Edward Elgar Publishing, Cheltenham, UK and Northampton, MA, USA (2015), pp. 69-88
25. P. Deutz, D.I. Lyons Introducing an international perspective on industrial ecology. P. Deutz, D.I. Lyons, J. Bi (Eds.), International Perspectives on Industrial Ecology, Edward Elgar, Cheltenham, UK and Northampton, MA, USA (2015), pp. 1-11
26. Тимонин А. С. Инженерно-экологический справочник. Учебное пособие в 3х томах – Калуга: Изд-во Бочкаревой, 2003. - 884 с.
27. 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.
28. Шмырев Д. В., Горбунова В. А., Кочетов О.С., сборник: В МИРЕ НАУКИ И ИННОВАЦИЙ, сборник статей международной научно-практической конференции, 2016. 204-206 с.
29. Штокман Е. А. Очистка воздуха – М.: Изд. АСВ, 1999 - 456 с.
30. Юшин В. В., Попов В. М., Кукин П. П. и др. /Техника и технология защиты воздушной среды - М.: Высш. шк., 2005. - 391 с.
31. Павлов, К. Ф., Романков, П. Г., Носков, А. А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. Л.: Химия, 1987. – 576 с.

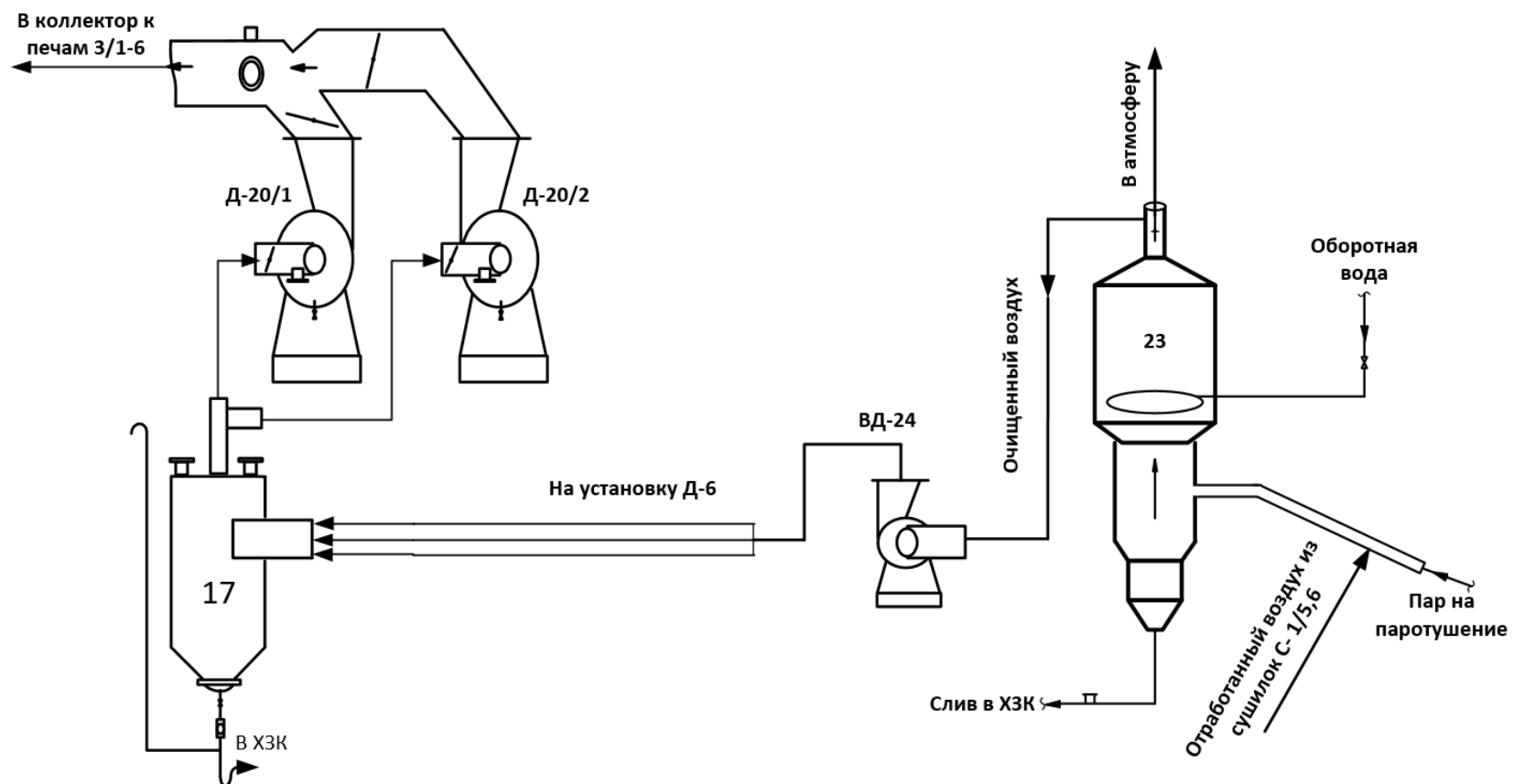
32. Плановский А. Н., Николаев П. И. Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии. Издание 3.-М.: Химия, 1987. - 496 с.
33. Попов М.А. Инженерная защита окружающей среды на территории города. — М.: Изд-во МГУП, 2005. – 231 с.
34. Мухленов И. П., Горштейн А. Е., Тумаркина Е. С. Основы химической 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.
35. Никалаева Г. И. Массообменные процессы: Учебное пособие. - Улан-Удэ: изд-во ВСГТУ, 2005. - 238 с.
36. Коузов П. А. Очистка газов и воздуха от пыли в химической промышленности. Л.: Химия, 1993. - 320 с.
37. Гусев Ю. К., Папков В. Н. Каучуки эмульсионной полимеризации. Состояние производства в Российской Федерации и научно-исследовательские работы Воронежского Филиала ФГУП «НИИСК». //Каучук и резина. - 2009. -№2. -С.
38. Демина Т. А. Экология, природопользование, охрана окружающей среды: учебное пособие для вузов / Т. А. Демина, А. Б. Борисов. - М.: Аспект пресс, 1995. - 102 с.
39. Дикарь В. Л., Дейнека А. Г., Михайлив И. Д., Основы экологии и природопользования. – Харьков; ООО «Олант», 2002. – 384 с.
40. Дубальская Э. Н. Очистка отходящих газов - М.,1991. - 256 с.
41. Дубов А. В. Газоочистные аппараты сухого и мокрого типов. М.: Химия, 1993. - 320 с.
42. Дытнерский Ю. И. Основные процессы и аппараты химической технологии.-М.: Химия, 1983. - 400 с.
43. Официальный сайт Chemical engineering solutions [Электронный ресурс] URL:[https://www. http://www.cesolutions.ru/](https://www.http://www.cesolutions.ru/). (Дата обращения: 12.01.2020).

Приложение А Технологическая схема сушилки С-1/5,6



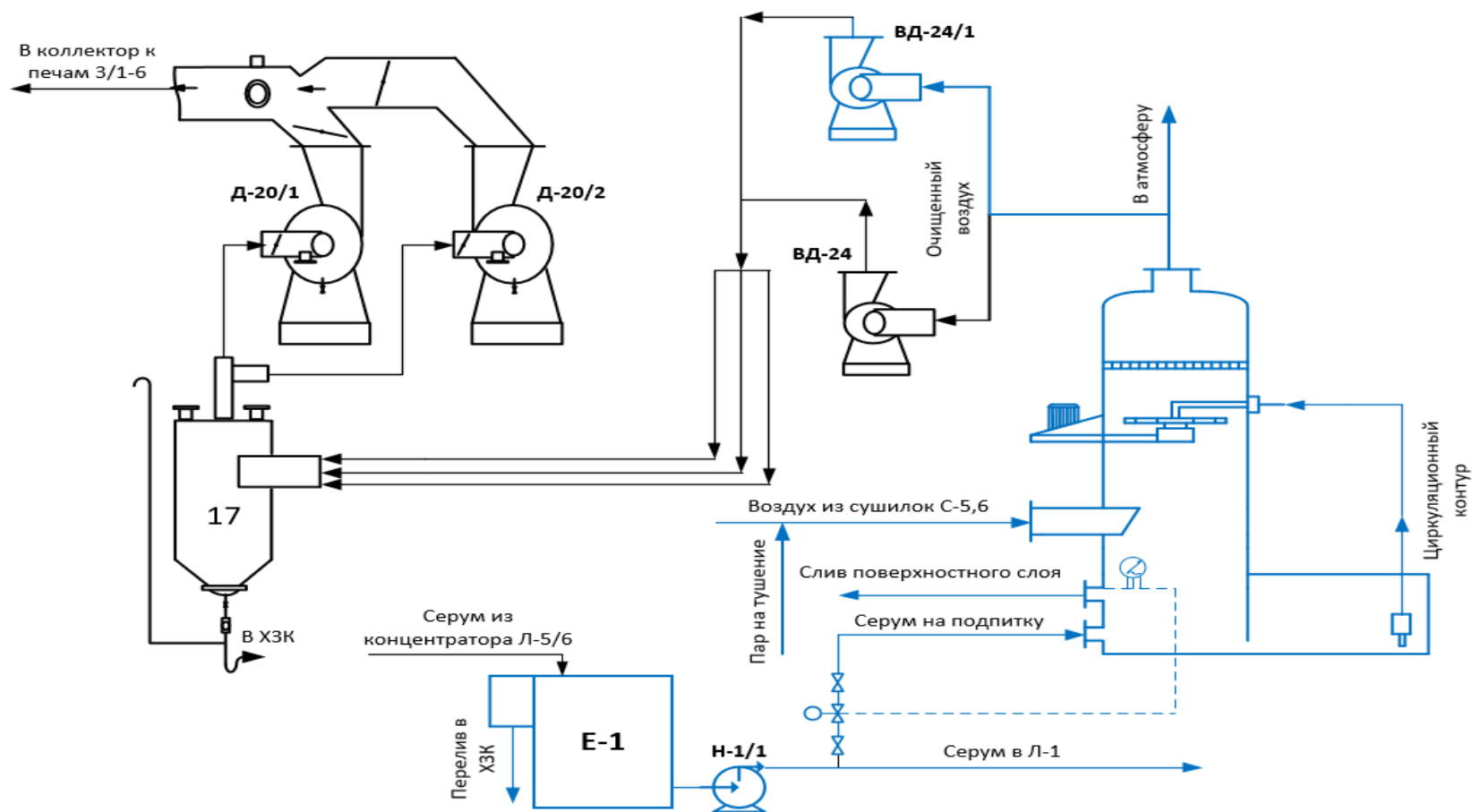
Приложение Б

Схема предварительной очистки отработанного воздуха

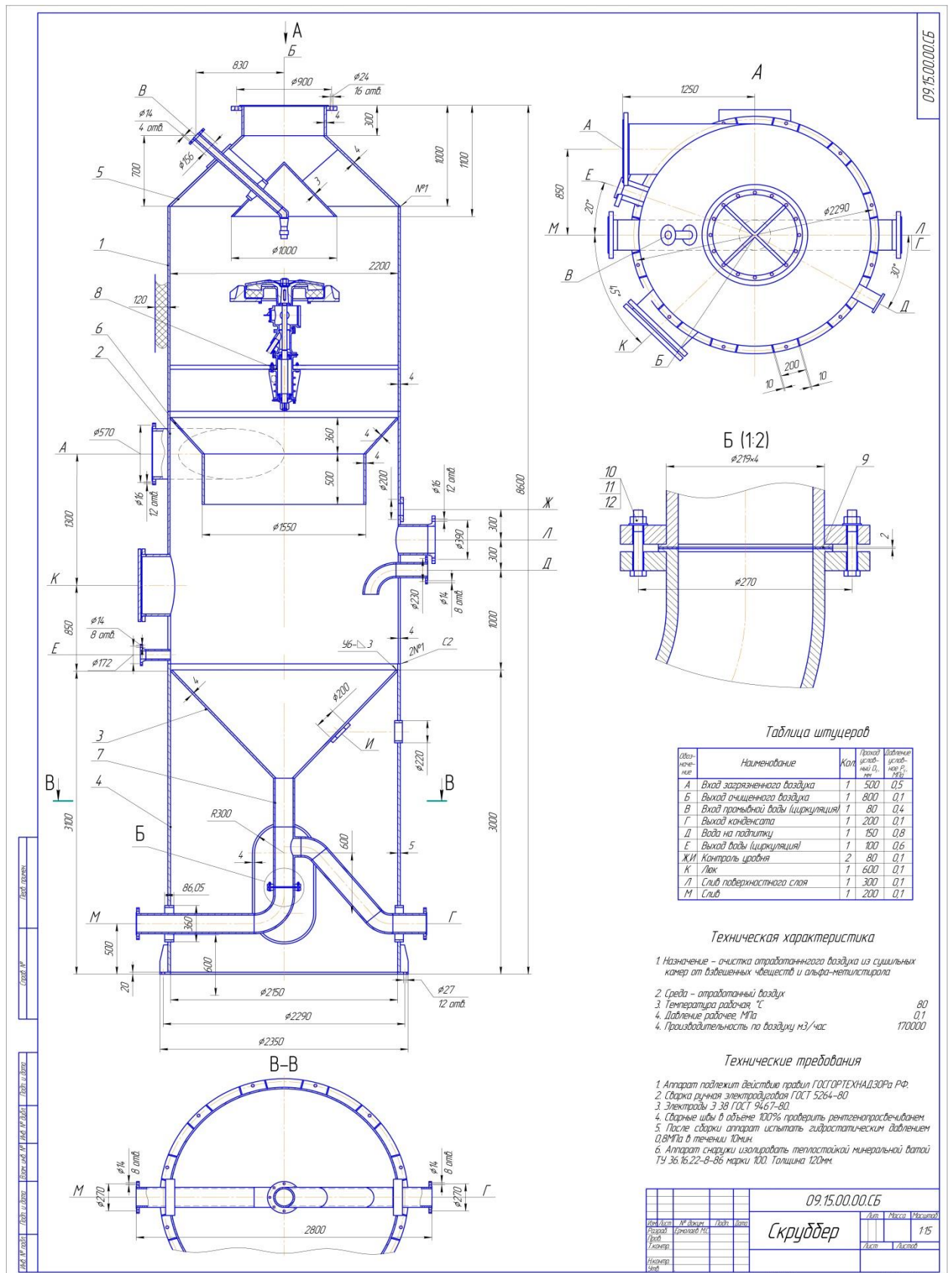


Приложение В

Схема предлагаемой очистки отработанного воздуха

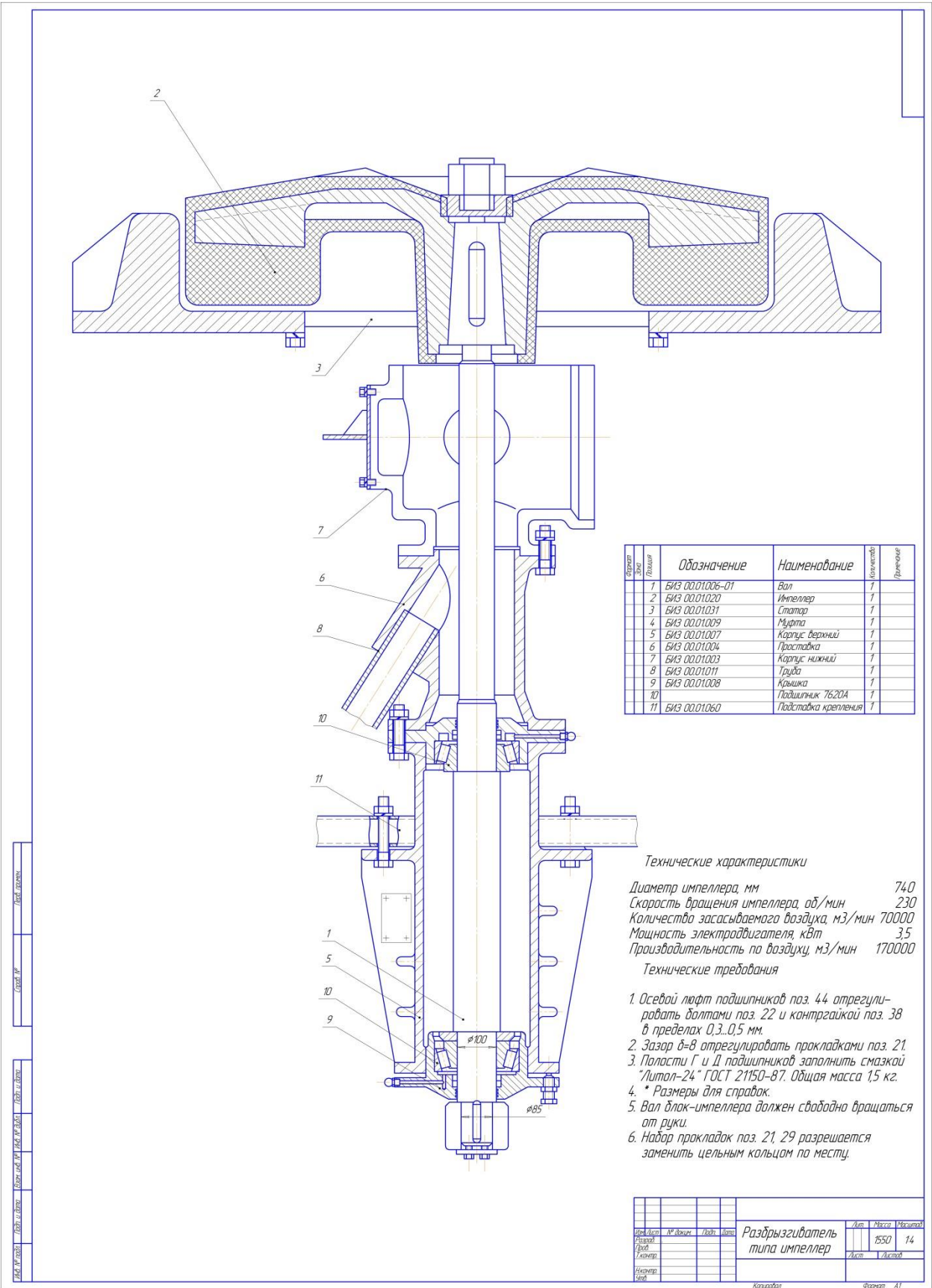


Приложение Г Чертеж скруббера



Приложение Д

Чертеж разбрызгивателя типа импеллер



Приложение Е

Цены и тарифы на энергоресурсы

Таблица Е.1 - Цены и тарифы на энергоресурсы

Наименование ресурса	Ед. изм	Факт 2018	БП 2019
Электроэнергия	кВт.ч.	2,932	3,421
Пар "Т-Плюс" (средний тариф с учетом теплоносителя)	Гкал	966,125	985,343
ХОВ "Т-Плюс"	Гкал	1 403,055	1 457,644
Природный газ (поставка+транспорт)	тыс. м ³	4 716,18	4 864,170
Азот с КТЗ	тыс. м ³	2 651,131	2 838,199
Водород	м ³	11,228	11 509,941
Вода оборотная	тыс. м ³	1460,150	1580,440
Вода умягченная	тыс. м ³	5 760,000	6 230,000
Вода деаэрированная	тыс. м ³	96 522,590	100 896,920
Вода речная	тыс. м ³	1 643,500	1 778,230
Вода для хоз-бытовых нужд	тыс. м ³	17 628,758	18 360,975
Водоотведение, очистка стоков	тыс. м ³	4 928,710	5 620,166
Воздух	тыс. м ³	536,370	780,610
Азот	тыс. м ³	1 688,420	2 026,700
Пар (Д-6)	Гкал	487,150	459,690
Вода горячая (Д-6)	Гкал	564,627	609,956
Пар (ИП-2)	Гкал	757,758	760,379
Вода горячая (ИП-2)	Гкал	746,121	761,075
Холод (И-3)	Гкал	1 833,769	1 624,545
Холод (БК-3)	Гкал	1 950,433	2 337,875
Холод (ИП-3)	Гкал	3 213,550	3 504,420