

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)

18.03.01 «Химическая технология»

(код и наименование направления подготовки / специальности)

«Химическая технология органических и неорганических веществ»

(направленность (профиль) / специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему: Оптимизация технологии переработки щелочных стоков производства
капролактама ПАО «КуйбышевАзот»

Обучающийся

А.Н. Сонаева

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

Ю.В. Чариков

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Тольятти 2023

Аннотация

Бакалаврскую работу выполнила: Сонаева А. Н.

Тема работы: Оптимизация технологии переработки содового раствора цеха №23 ПАО «КуйбышевАзот».

Научный руководитель: Чариков Ю. В.

Цель бакалаврской работы – это оптимизация технологии переработки содового раствора цеха № 23 на производстве ПАО «КуйбышевАзот».

Дипломная работа состоит из 44 страниц, 13 таблиц и 10 рисунков. Представлена технологическая схема и ее описание. Составлен расчет материального и теплового баланса полого скруббера. Был рассчитан основной аппарат, направленный на очистку загрязненного газа после всех процессов переработки содового раствора.

Объектом исследования является предприятие ПАО «КуйбышевАзот», где и проходила преддипломная практика.

Для написания выпускной квалификационной работы послужила технологическая схема процесса переработки щелочных стоков цеха № 23 и ее описание, а также характеристика выпускаемой продукции исходного сырья и вспомогательных материалов, которые используются на предприятии ПАО «КуйбышевАзот».

Содержание

Введение.....	4
1 Теоретическая часть.....	5
1.1 Общие сведения о химическом предприятии ПАО «КуйбышевАзот»	5
1.2 Способ образования и причины образования, щелочных стоков производства капролактама	6
1.3 Способы получения содового раствора	8
1.4 Способ переработки содового раствора на предприятии ПАО «КуйбышевАзот»	10
1.5 Общие сведения о скрубберах	12
1.6 Патентный поиск.....	17
1.7 Предлагаемое техническое решение по оптимизации переработки содового раствора в цехе № 23	19
2 Технологическая часть	21
2.1 Описание технологической схемы	21
2.2 Характеристика получаемой кальцинированной соды на предприятии ПАО «КуйбышевАзот».....	25
3 Расчетная часть.....	29
3.1 Расчет материального баланса полого скруббера	29
3.2 Тепловой расчет полого скруббера	34
3.3 Конструктивные расчеты основного аппарата	38
Заключение	43
Список используемой литературы и используемых источников.....	44
Приложение А	49

Введение

В городе Тольятти располагается большое количество предприятий химической отрасли, производственный процесс которых предполагает образование отходов. В рамках своей деятельности предприятия стремятся снизить количество образующихся отходов и минимизировать негативное воздействие на окружающую среду. Это возможно только с применением новых ресурсосберегающих технологий, а также с частичной заменой старого оборудования на более новое.

Примером внедрения ресурсосберегающих технологий является производство кальцинированной соды на предприятии ПАО «КуйбышевАзот». Кальцинированную соду получают путем термической переработки щелочных стоков производства капролактама. К такому методу производства кальцинированной соды пришлось прибегнуть из-за невозможности экономически обоснованной переработки щелочных стоков иным способом.

Целью представленной бакалаврской работы является оптимизация технологии переработки содового раствора с помощью установки полого скруббера. Выбранная тема является актуальной, так как предприятие избавляется от щелочных стоков производства капролактама, а также на их основе выпускает новую продукцию в виде кальцинированной соды.

Для выполнения поставленной цели дипломной работы, решались следующие задачи:

1. Изучить существующие и перспективные способы получения содового раствора при переработке щелочных стоков производства капролактама;
2. Предложить пути оптимизации технологии переработки содового раствора цеха 23 на предприятии ПАО «КуйбышевАзот»;
3. Разработать усовершенствованную технологическую схему;
4. Выполнить технологические расчеты основного оборудования.

1 Теоретическая часть

1.1 Общие сведения о химическом предприятии ПАО «КуйбышевАзот»

ПАО «КуйбышевАзот» является химическим предприятием, который располагается в городе Тольятти Самарской области по адресу улица Новозаводская 6. ПАО «КуйбышевАзот» является ведущим производителем полиамида (ПА – 6), капролактама, аммиака, а также является лидером крупнейшего производства технических и текстильных нитей в России.

Производство полиамида на предприятии составляет 99% доли от всего производства в России СНГ и восточной Европе. За 2021 год предприятие имеет следующие мощности: изготовление гранулята полиамида (ПА – 6) составляет 210 тыс. т.

Производство капролактама на предприятии составляет 55% доли от всего производства в России. За 2021 год предприятие имеет мощность 250 тыс. т

Производство аммиака на предприятии составляет 71% доли от всего производства в России. За 2021 год предприятие имеет следующие мощности:

-изготовление аммиака составляет 700 тыс. т.;

-изготовление аммиачной селитры составляет 800 тыс. т.

Производство технических и текстильных нитей на предприятии составляет 82% доли от всего производства в России. За 2021 год предприятие имеет мощность по полиамидной технической нити и текстильной нити 21 тыс. т.

Также предприятие изготавливает кальцинированную соду в количестве 7 тыс. т., что составляет 5% от всех предприятий, которые изготавливают данную продукцию в России [3].

Начиная с 2000 г. ПАО «КуйбышевАзот» использует различные стратегии для снижения потребляемых ресурсов и нагрузки со стороны техногенной составляющей, а также главной задачей предприятия является сохранение и защита окружающей среды. Благодаря такому подходу получилось выработать продукцию с 2000 по 2021 год в 2,1 раза; количество выбросов в атмосферу сократилось почти в 2,2 раза, а количество загрязненных стоков, сбрасываемые в Волгу, сократилось в 4,8 раз.

Такие достижения были получены путем внедрения различных технологий со стороны энергосбережения и ресурсосбережения, а также усовершенствования устаревшего оборудования.

1.2 Способ образования и причины образования, щелочных стоков производства капролактама

Причины образования щелочных стоков на предприятии ПАО «КуйбышевАзот» получается из процесса окисления циклогексана.

Щелочные стоки образуются при нейтрализации кислых продуктов процесса окисления циклогексана, с помощью подачи воздуха и омыление эфиров, содержащихся в оксидате разбавленным водным раствором каустической соды.

В состав щелочных стоков входят натриевые соли монокарбоновых, дикарбоновых кислот и оксикислот, приведенные в таблице 1.

Таблица 1 – Состав щелочных стоков

Компоненты	Массовая доля, %	Химическая формула
1	2	3
Натриевые соли кислот:		
- муравьиная	0,25	HCOONa
- уксусная	0,20	CH ₃ COONa
- пропионовая	0,08	CH ₃ CH ₂ COONa
- масляная	0,42	CH ₃ (CH ₂) ₂ COONa
- валериановая	2,45	CH ₃ (CH ₂) ₃ COONa

Продолжение таблицы 1

- капроновая	1,09	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{COONa}$
- оксикапроновая	4,43	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{COONa}$
- молоновая	0,10	$\text{NaOOCCH}_2\text{COONa}$
- янтарная	0,23	$\text{NaOOC}(\text{CH}_2)_2\text{COONa}$
- глутаровая	1,01	$\text{NaOOC}(\text{CH}_2)_4\text{COONa}$
- адипиновая	15,69	$\text{NaOOC}(\text{CH}_2)_4\text{COONa}$
Циклогексанон		$\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}$
Циклогексанол		$\text{C}_6\text{H}_{11}\text{OH}$
Едкий натр	1,45	NaOH
1	2	3
Сода кальцинированная	0,32	Na_2CO_3
Смола	7,80	
Вода	64,48	H_2O

Переработка щелочных стоков представляет собой сложную задачу из-за нескольких факторов, включая их химическую природу, высокую щелочность и потенциальную опасность для окружающей среды. Вот несколько трудностей, связанных с переработкой щелочных стоков [7]:

Высокая щелочность: Щелочные стоки обладают высоким рН (щелочностью), что делает их обработку сложной задачей. Высокая концентрация щелочей требует специальных методов обработки для нейтрализации и снижения их воздействия на окружающую среду.

Опасность для здоровья и окружающей среды: Некоторые составляющие щелочных стоков, такие как гидроксиды и аммиак, могут быть опасными для здоровья человека и окружающей среды, поэтому их обработка и утилизация требуют специальных мер безопасности.

Щелочные стоки могут содержать различные химические вещества и примеси, что делает процесс их обработки сложным из-за неоднородности состава.

Эффективная переработка щелочных стоков требует разработки и применения специализированных технологий и методов обработки, которые могут быть дорогостоящими и требовать высокого уровня экспертизы.

При переработке щелочных стоков могут образовываться отходы или выбросы, которые также требуют обработки и утилизации, чтобы предотвратить их негативное воздействие на окружающую среду.

Некоторые компоненты щелочных стоков могут быть сложны для переработки и возвращения в производственный цикл для вторичного использования из-за своей химической природы или высокой степени загрязнения.

Из-за указанных сложностей переработка щелочных стоков требует специализированных технологий, строгого контроля процесса и соблюдения нормативных требований по охране окружающей среды и безопасности труда

В состав стоков входит множество разнородных продуктов в небольшом количестве. Выделение отдельных веществ затруднено. Это обстоятельство сужает возможность выбора экономически обоснованной технологии переработки. Оптимальным способом переработки является термическая деструкция с последующим получением содового раствора.

1.3 Способы получения содового раствора

Кальцинированную соду можно получить различными способами. Существует три способа получения кальцинированной соды: путем декарбонизации бикарбоната натрия, аммиачным способом, получения содового раствора на базе комплексной переработки нефелинового сырья. Рассмотрим более подробно основные способы [13].

1.3.1 Способ получения содового раствора путем декарбонизации бикарбоната натрия

Такой способ получения содового раствора ведется путем подачи насыщенного пара при температуре $115 \div 130$ °С. Бикарбонат натрия превращается в карбонат натрия при температурах $83 \div 85$ °С. Для того, чтобы повысить превращение бикарбоната натрия в соду подают сжиженный

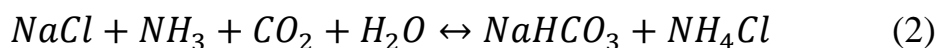
углекислый газ с температурой 180°C. Таким образом превращение бикарбоната натрия в карбонат натрия составляет 90 ÷ 95%.

1.3.2 Способ получения содового раствора аммиачным способом

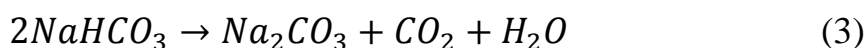
Получение содового раствора в аммиачном способе ведется путем добавления гидрокарбоната аммония:



На предприятиях, где производят соду, гидрокарбонат аммония получают из аммиака, и диоксида углерода непосредственно водных растворах хлорида натрия. Общая химическая реакция получения гидрокарбоната натрия будет иметь следующий вид:



Диоксид углерода почти не растворяется в воде, при отсутствии аммиака. Поэтому хлорид натрия в первую очередь насыщают аммиаком и полученный рассол обрабатывают диоксидом углерода. Получаем две степени протекания реакции. Первая ступень это процесс поглощения аммиака в отделении абсорбции, а вторая ступень это процесс отделения карбонизации. Полученный осадок при процессе карбонизации проводят через фильтр и получаем разлагаемую соду:



Разложение соды происходит при температуре 150 – 180°C.

1.3.3 Способ получения содового раствора на базе комплексной переработки нефелинового сырья

Производство содового раствора на базе комплексной переработки нефелинового сырья было уделено большое внимание, так как имеет некие преимущества в виде отсутствия отходов производства, а также имеет экономичность энергетических затрат процесса в сравнении с другими способами получения содового раствора. Также имеется преимущества вредных стоков [8].

Также имеются недостатки такого производства в виде затрат на труд при добывании сырья, а также затраты на капремонт и текущий ремонт.

1.4 Способ переработки содового раствора на предприятии ПАО «КуйбышевАзот»

Технология получения кальцинированной соды, реализуемая на ПАО КуйбышевАзот переработки жидких отходов, шламов и некоторых твердых отходов, с помощью огневой переработки. Так с помощью реактора, в котором происходит процесс обезвреживания щелочных отходов, получается кальцинированная сода. Из таблицы 1, состав щелочных стоков составляет 16-47% натриевых солей.

Сжигание щелочных стоков, также известное как обезвреживание или утилизация, это процесс уничтожения отходов, содержащих щелочные или щелочно-земельные вещества. Щелочные стоки могут включать в себя различные отходы, такие как щелочные растворы, отработанные химические вещества, отходы от производства, содержащие в себе щелочи и другие.

Процесс сжигания щелочных стоков может осуществляться в специализированных установках, называемых сжигательными печами или инкрементальными печами. Эти установки спроектированы для высоких температур и контролируемого сжигания отходов [11].

Сначала щелочные стоки должны быть правильно подготовлены для сжигания. Они перемешиваются, при необходимости, разбавляются, чтобы обеспечить оптимальные условия для сгорания.

После подготовки стоки распыляются во внутреннем объеме сжигательной печи, где происходит высокотемпературные окислительные процессы.

В процессе сжигания создаются очень высокие температуры (обычно свыше 1000 градусов Цельсия). При таких высоких температурах происходит окисление органических и неорганических компонентов отходов, что приводит к разложению их структуры на более простые компоненты [18].

Газы, образующиеся в результате сжигания, содержат различные токсичные и вредные вещества. Поэтому они проходят через системы фильтрации и очистки, которые удаляют частицы, дым, тяжелые металлы и другие загрязнители, прежде чем они будут выброшены в атмосферу.

Весь процесс сжигания щелочных стоков тщательно контролируется, чтобы обеспечить соответствие нормативам по защите окружающей среды и безопасности.

Сжигание щелочных стоков имеет свои преимущества, такие как уменьшение объема отходов, однако это также подразумевает необходимость в строгом контроле температур и эффективной обработке выбросов для минимизации воздействия на окружающую среду.

Таким образом трудно перерабатываемые отходы производства преобразуются в готовую продукцию, пользующуюся спросом.

Образующиеся дымовые газы, которые требуют утилизации для того, чтобы довести показатели дымовых газов до приемлемых для сброса в атмосферу часто используется скруббер.

1.5 Общие сведения о скрубберах

Скрубберы – это устройства, используемые для удаления загрязняющих веществ из газовых выбросов, особенно из выбросов от работы промышленных установок, таких как электростанции, заводы и

другие предприятия. Они помогают снизить уровень загрязнения атмосферы и соответствовать экологическим стандартам.

Существует несколько типов скрубберов, которые могут использоваться в различных условиях и для удаления различных типов загрязнений:

Самый распространенный вид скрубберов – мокрые. Они используют жидкость (обычно воду или химические растворы) для поглощения и удаления загрязняющих веществ из газовых выбросов. Газы проходят через эту жидкость, где происходит химическая реакция или адсорбция загрязнителей, и в результате очищенный газ выпускается в атмосферу [9].

Выделяют сухие скрубберы. В отличие от мокрых скрубберов, сухие скрубберы используют абсорбенты или сорбенты, такие как известь или различные химические вещества, чтобы поглотить загрязняющие газы. Они могут быть менее эффективными для определенных типов загрязнителей, но имеют свои преимущества, такие как меньшее потребление воды и возможность использования в более широком диапазоне условий.

Электростатические скрубберы используют электрические поля для удаления частиц из газовых потоков. Они могут быть эффективными для удаления твердых частиц, таких как пыль, дым и другие мелкие частицы.

Скрубберы играют важную роль в снижении выбросов вредных веществ в атмосферу, улучшении качества воздуха и соблюдении экологических норм и стандартов. Использование определенного типа скруббера зависит от характеристик выбросов, требований к очистке и условий окружающей среды [14].

В основе работы мокрых скрубберов лежит явление абсорбции. «По виду различают физическую абсорбцию и хемосорбцию. Абсорбцией является процесс поглощения газов из смеси. Хемосорбцией является поглощение одного вещества другим за счет большей химической силой.» [6]. При протекании процесса физической абсорбции химическая реакция не

протекает, а при процессе хемосорбции происходит реакция за счет поглощения одного вещества другим, образуя химическое соединение.

Процесс абсорбции используют, как получение различных растворов, так и при обратном процессе разделения газовой смеси. Если происходит поглощение одного вещества над другим, то следует произвести выделение из абсорбента поглощенных веществ. Другим словом этот процесс называется десорбция [12].

Аппараты, которые работают под давлением выше атмосферного.

Также скрубберы делятся на два типа:

1. Насадочные;
2. Полые.

1.5.1 Насадочные скрубберы

Насадка в мокрых скрубберах - это специальные элементы, которые помогают обеспечить оптимальный контакт между газами и жидкостью для эффективной очистки.

Наиболее распространенным типом насадки являются кольца Рашига. Это цилиндрические элементы с отверстиями, которые помогают увеличить поверхность контакта между газами и жидкостью. Они улучшают эффективность передачи массы между фазами, что способствует более эффективной очистке. Их конструкция показана на рисунке

Седла Палле (Pall rings): Эти элементы имеют форму седла с несколькими отверстиями и выступами, создавая большую поверхность для контакта между газами и жидкостью. Они помогают улучшить процесс передачи массы и обеспечивают более эффективное удаление загрязнений.

Прочие типы насадок: Кроме кольцевых элементов, существуют и другие формы насадок, такие как различные формы шариков, сфер, сегментов и конических структур, которые также используются в мокрых скрубберах для обеспечения оптимального контакта между фазами и повышения эффективности очистки.

Эти насадки предназначены для увеличения поверхности контакта между газами и жидкостью, что способствует лучшему поглощению загрязнений и повышению эффективности процесса очистки в мокрых скрубберах.

Сферические насадки (Spherical packing): Это шарообразные элементы, которые могут быть разного размера и материала. Они создают большую поверхность контакта между газами и жидкостью, обеспечивая эффективное удаление загрязнений.

Кольца Берл. Похожие на седла Палле, но имеют форму более коротких и толстых цилиндрических элементов. Они также способствуют увеличению поверхности контакта для лучшей очистки газов [20].

Шарики Пинкса. Эти насадки имеют особую форму, напоминающую переплетенные кольца или спирали. Они создают высокую поверхность контакта и обладают хорошими гидродинамическими свойствами.

Сегменты Шуберта. Это структуры в форме сегментов, которые могут быть размещены внутри скруббера для улучшения перемешивания газов и жидкости, что способствует эффективной очистке [15].

Насадки могут быть изготовлены из различных материалов, таких как керамика, пластик или металл. Эти материалы могут обладать различными химическими и физическими свойствами, подходящими для конкретных условий эксплуатации.

Эти насадки используются для обеспечения увеличения поверхности контакта между газами и жидкостью, чтобы обеспечить более эффективное удаление загрязнений из газовых потоков в мокрых скрубберах.

Насадки должны обладать большой удельной поверхностью и большим свободным объемом, а также оказывать меньшее сопротивление газовому потоку и иметь стойкость к коррозии. Стенки насадки должны обладать малым весом.

В таблице 2 показаны типы и виды насадок

Таблица 2 – Применяемые насадки в скрубберах

Типы насадок	Виды насадок
1 Регулярные насадки	Хордовая насадка
	Кольцевая насадка
	Блочная насадка
2 Нерегулярные насадки	Насадки, которые засыпают в хаотичном порядке, без укладки

Хордовая насадка – это насадка, состоящая из деревянных досок, которые ставятся на ребро, тем самым образуя решетку, как показано на рисунке 1. Деревянные доски располагают под углом 90 °С.

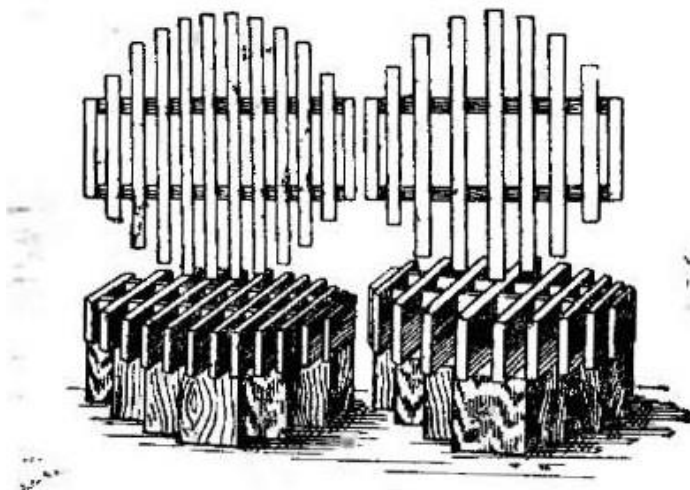


Рисунок 1 – Хордовая деревянная насадка

Кольцевая насадка (кольца Рашига) – это насадка, состоящая из тонких стенок колец. Диаметр колец не превышает высоты самих колец. Примерные размеры колец в высоту составляют от 25 ÷ 150 мм. Чаще всего такие кольца изготавливают либо из керамики, фарфора либо из стали. Редкий случай, когда кольца изготавливают из углеграфитовых материалов.

1.5.2 Полые скрубберы

Полые скрубберы относятся к аппаратам мокрой очистки и служат в качестве охладителя для поступающего газа. Данный аппарат имеет вертикальное положение, относительно плоскости и имеют круглое либо же прямоугольное сечение. В основном устанавливают скрубберы круглого сечения. В данном скруббере устанавливаются форсунки для подачи жидкости. Пыль, которая осаждается внизу аппарата, выводится с помощью разгерметизации нижней крышки.

Полый скруббер выполняется из металла. В редких случаях полые скрубберы можно изготавливать из обычного красного кирпича или же из железобетонных изделий. Также внутреннюю часть скруббера при необходимости покрывают химической плиткой, которая служит в качестве антикоррозионного материала.

Загрязненный газ подается в нижнюю часть аппарата по наклонному патрубку, дабы обеспечить равномерное распределение газового потока внутри полого скруббера.

В литературных источниках указывается, что степень очистки загрязненного воздуха составляет не менее 50%, в зависимости от размера фракции пыли. Установку полого скруббера следует выполнять перед аппаратом тонкой очистки.

Полые скрубберы также подразделяются на испарительные и охладительные. Это зависит от количества подаваемой жидкости в аппарат.

Чтобы обеспечить охлаждение газового потока, поступающий на очистку в полый скруббер, используют большое количество жидкости через форсунки.

В испарительные скрубберы подают небольшое количество воды, которая большей частью или полностью испаряется в охлаждаемый газ. Эти скрубберы применяют для охлаждения газа до заданной температуры, превышающей точку росы, в установках сухой очистки газа.

Для очистки дымовых газов применяют насадочные и полые скрубберы, которые отличаются только конструктивными особенностями аппарата. Отличительные особенности скрубберов заключается в том, что в насадочные скрубберы устанавливают насадки, которые со временем приходится менять на новые.

1.6 Патентный поиск

В рамках бакалаврской работы использовались патенты на изобретения в области производства кальцинированной соды, применяемые как в России, так и в других странах. В таблице 3 представлены патенты на изобретения, которые были найдены, а также их аналоги, которые были утверждены «Федеральным институтом промышленной собственности» (ФИПС).

Таблица 3 – Патентный поиск

Номер документа	Название документа	Обладатель патента	Имя изобретателя
2	3	4	5
Патент Российской Федерации 2283282 Заявка: №2005112704/15, 26.04.2005	Способ получения кальцинированной соды	Открытое акционерное общество "Сода"	Титов В. М. Карпов В. Г. Иванов Ю. А. Лобастов С. А.
Патент Российской Федерации 2736461 Заявка: №2736461С1, 17.11.2020	Способ получения кальцинированной соды из природного содосодержащего сырья	Общество с ограниченной ответственностью "Сибирская содовая компания"	Нефедов Р. А. Орлов В. В. Медведев Р. Решетников Д. М. Шегарова Н. А. Лукьянцев В. С.
Авторское свидетельство 1619646 Заявка: №4647122/26, 13.12.1988	Способ получения кальцинированной соды и сульфата калия	-	Томенко В.М. Зубкова Е.М.
Патент Российской Федерации 2015151158 Заявка: №2015151158, 27.11.2015	Способ переработки твердых отходов производства кальцинированной соды аммиачным методом	Федеральное Казенное Предприятие "Авангард"	Загидуллин Р. Н. Ибрагимов Р. А. Мухаметов А. А. Загидуллин С. Н. Воронин А. В. Котова О. И.

«В патенте № 1 описывается способ получения кальцинированной соды аммиачным методом, включающий получение на стадии абсорбции насыщенного аммиаком очищенного рассола, предкарбонизацию аммонизированного рассола, карбонизацию предкарбонизованной жидкости, отделение образовавшегося гидрокарбоната на фильтрах, его промывку от содержания хлор-ионов промывной водой при температуре 30-40°C, кальцинацию гидрокарбоната натрия, дистилляцию фильтровой жидкости, отличающийся тем, что промывку от хлор-ионов ведут до содержания хлор-ионов в гидрокарбонате натрия, поступающем на стадию кальцинации, равного 0,075-0,190 мас.% в пересчете на NaCl, при этом pH промывной воды соответствует 8,5-8,7, ее расход равен 0,40-0,95 м³/т, а электропроводность фильтровой жидкости составляет 35,25-41,00 См/м» [23].

«Предлагаемое в патенте № 2 изобретение относится к способам получения кальцинированной соды и сульфата калия из маточных растворов карбонизации глиноземного производства и может найти применение в химической промышленности, в частности при комплексной переработке нефелинового сырья» [16].

«Предлагаемое в патенте № 3 изобретение относится к области химической технологии, а именно к способу получения кальцинированной соды из природного содосодержащего сырья для использования в стекольной промышленности, а именно в производстве прозрачной стеклянной тары для пищевой промышленности. Способ включает карбонизацию водного раствора природной соды карбонизирующим газом с образованием суспензии бикарбоната натрия, фильтрацию и отмывку бикарбоната натрия с последующей его кальцинацией» [1].

«В патенте № 4 описывается способ переработки твердых отходов производства кальцинированной соды аммиачным методом осуществляется для отходов, полученных фильтрацией дистиллерной жидкости с использованием промышленных фильтр-прессов» [24].

Часть патентов ориентировано на выпуск высококачественной кальцинированной соды из первичного сырья. Эти способы позволяют получить товарный продукт с широким спектром применения, но с высокими затратами. Часть патентов описывает способы использования вторичных материальных ресурсов различных производств. Эти способы позволяют получать продукт с ограниченными техническими характеристиками, но удельные затраты на его производство невелики. В рамках технологии, применяемой на ПАО «Куйбышевазот» реализуется последняя концепция [22].

1.7 Предлагаемое техническое решение по оптимизации переработки содового раствора в цехе № 23

Проектирование 2 скрубберов в 1999 году в цехе № 23 соответствовали всем требованиям по регламенту очистки газообразных сред от различных примесей. Загрязненный газ поступал в количестве 8000-10000 м³/ч.

При проведении ряда усовершенствований за 20 лет значительно возросла производительность установки по выпуску кальцинированной соды, стало выделяться большое количество загрязненного газа в объеме 30000 м³/ч.

Исследовав существующую технологическую схему в цехе № 23 по очистке газов, при этом проведен анализ выявленной проблемы, был предложен следующий вариант решения: полная замена установок очистки дымовых газов на один полый скруббер. Конструктивная особенность такого аппарата заключается не только в очистке загрязненного газа, но и в возможности его охлаждения.

При анализе данных о нормах технологического режима было выявлено, что загрязненный газ поступает на очистку с температурой 300 °С, то есть его нужно охладить до температуры 200°С и очистить в скруббере. В качестве охлаждения будет использована вода, которое подается через

форсунки, для осаждения механических примесей и удаления загрязняющих веществ из дымовых газов.

Вывод по теоретической части. В данном разделе были изучены общие сведения о предприятии ПАО «КуйбышевАзот». Рассмотрены характеристики продукции, которые производит завод в целом. Были приведены способы получения содового раствора, которые применяются в России и за рубежом, а также выполнен патентный поиск, с детальным описанием отдельных изобретений касающихся рассматриваемого процесса. В ходе изучения технологии переработки щелочных стоков методом сжигания была выявлена технологическая проблема, заключающаяся в недостаточной производительности скрубберов для отчистки дымовых газов, что приводит к увеличению количества выбросов в атмосферу.

2 Технологическая часть

2.1 Описание технологической схемы

Блок-схема производства кальцинированной соды цеха № 23 путем термической переработки щелочных стоков производства капролактама представлена на рисунке 2.

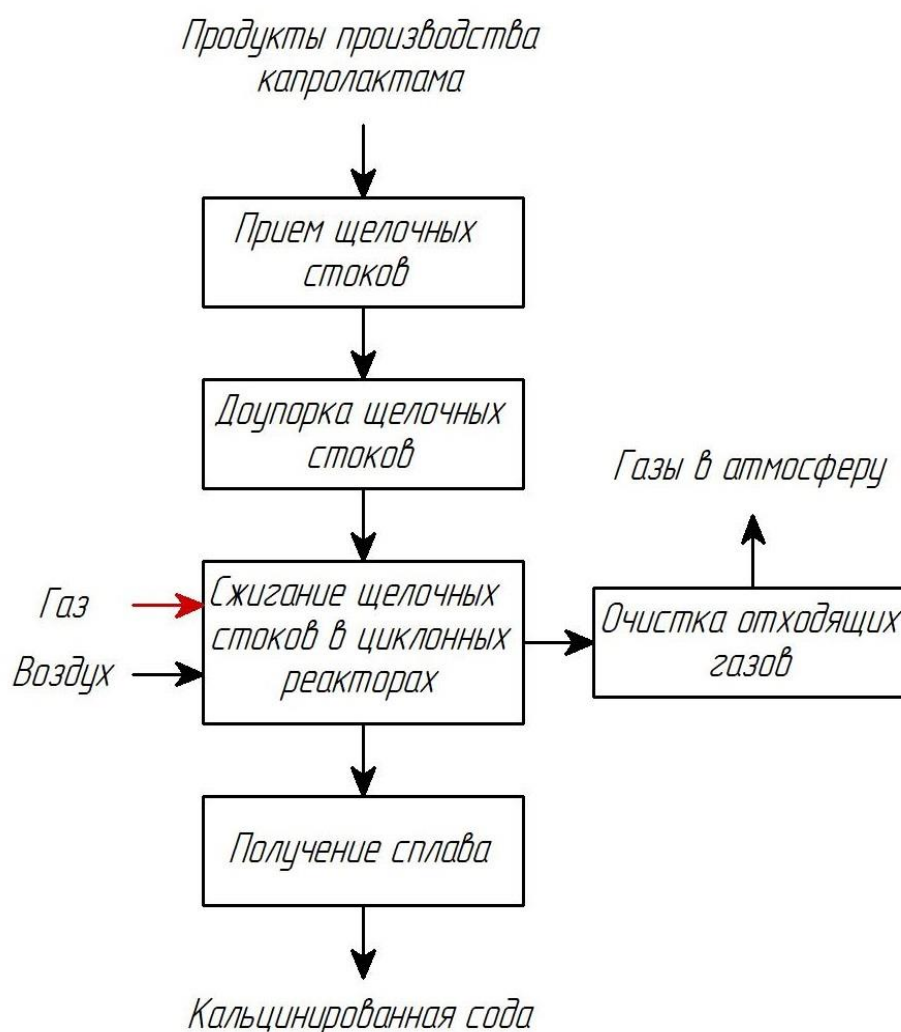


Рисунок 2 – Блок-схема производства кальцинированной соды цеха №23 путем термической переработки щелочных стоков производства капролактама

Все стоки, состоящие из щелочи (растворы, содержащие адипаты натрия) из цехов № 18,22,23,24,35,36,37,38 поступают непрерывно в специальную накопительную емкость. Из емкости стоки направляются в сжигательный аппарат (циклонный реактор) [25].

«Реактор представляет собой цилиндрический аппарат с водоохлаждением и располагается вертикально, относительно пола. Реактор состоит из трех частей:

- камера топки;
- рабочая камера;
- копильник» [2, 3].

Для разложения растворов адипатов натрия применяют природный газ, который используется в качестве источника тепла. Смесь, состоящая из газов на выходе из газовых горелок, сгорает в топочной камере, образуя поток закрученных раскаленных газов [32].

Раствор адипатов натрия подается через форсунки рабочей зоны непосредственно в циклонный поток раскаленных газов. Так как в растворе содержится вода, то она полностью начинает испаряться, как и вся органика, а оставшаяся соль органических кислот начинает взаимодействовать с кислородом воздуха. Далее натриевые соли переходят в окись натрия и начинают соединяться с углекислым газом и с парами воды, образуя при этом сплав раскаленной кальцинированной соды.

Под действием центробежных сил плав раскаленной кальцинированной соды начинает покрывать стенки поверхность рабочей зоны реактора и стекает в нижнюю часть на пережим, образуя гарнисаж, являясь хорошим теплоизолятором.

Далее плав соды начинает стекать в копильник через летку и поступает на стол – кристаллизатор. Для того, чтобы в летке плав не кристаллизовался, поддерживается высокая температура.

«Чтобы предотвратить перегрев аппарата в рубашку подается паровой охлажденный конденсат, который проходит через теплообменник из общего

коллектора» [21]. Паровой конденсат поступает из низа к верхней части аппарата и выходит через специальный штуцер, который расположен в верхней части реактора.

Полученная кальцинированная сода со столов – кристаллизаторов накапливается в специальный отведенный кузов или прицеп машины и сваливается навалом. Далее машина отправляется на закрытый склад хранения кальцинированной соды и отсюда поступает потребителям [31].

Полученные газы в ходе образования кальцинированной соды поступают в газоход, который охлаждают воздухом. «Газоход – это цилиндрический аппарат, расположенный в горизонтальном виде, относительно пола, предназначенный для подогрева воздуха перед подачей его в реактор, за счет утилизации тепла газов, что сокращает расход топлива» [10]. Далее охлажденные газы после аппарата газохода поступают в скруббер. Газ поступает в нижнюю часть. Скруббер – это цилиндрический аппарат с рубашкой, расположенный в вертикальном виде, относительно пола имеющий форсунки, через который происходит впрыск воды.

Газы после охлаждения в скруббере попадают в фильтрационную систему для очистки от пыли кальцинированной соды.

«Фильтрационная система – это газоочистной аппарат, имеющий стальной корпус, в котором расположены осадительные и коронирующие электроды, механизм для встряхивания электродов, узлы и решетки, предназначенные для распределения газов» [4, 5].

За счет высокого электрического напряжения на электродах в фильтре создается постоянное электромагнитное поле. Частицы пыли кальцинированной соды, поступающие в электрофильтр с газами, заряжаются от короны электрических зарядов на коронирующих электродах и под действием электрического поля осаждаются на осадительных электродах. Удаление пыли с электродов осуществляется при помощи ударно-механической системы встряхивания электродов. На каждом бункере

установлены электроприводные вибраторы для удаления пыли соды со стенок бункера в гидрозатворы.

В гидрозатворах пыль кальцинированной соды полностью растворяется слабым водным раствором соды 1-4 %, постоянно поступающим в гидрозатворы. Через переливы гидрозатворов содовый раствор самотеком поступает в емкость. Контур циркуляции содового раствора является замкнутым. После электрофильтров газы за счет разряжения направляются в дымососы. После дымососов газы выбрасываются в атмосферу через трубу. Для дополнительной очистки и охлаждения газа после электрофильтров в схему перед дымососами может быть включен скруббер-охладитель [30].

Описание технологических потоков процесса получения кальцинированной соды марки К в цехе 23 на предприятии ПАО «КуйбышевАзот» приведено в таблице 4.

Таблица 4 – Описание технологических потоков процесса получения кальцинированной соды марки К

Входной поток	Стадия технологического процесса	Выходной поток	Основное технологическое оборудование	Природоохранное оборудование
		Продукты и полупродукты		
1	2	3	4	5
Щелочные стоки	Прием и подготовка сырья	Упаренный раствор адипатов натрия	Приемные емкости, выпарное оборудование	-
Упаренный раствор адипатов натрия, природный газ воздух	Сжигание адипатов натрия	Плав кальцинированной соды Топочные газы	Реактор сжигания (циклонный аппарат), насосное и теплообменное оборудование	-
Газы	Очистка газов	Неконцентрированный раствор карбоната натрия, Отходящие газы в атмосферу	Емкостное и упаковочное оборудование, стол – кристаллизатор	Скруббера
Плав кальцинированной соды	Получение готовой продукции	Товарная сода	-	-

В таблице 5 приведены выбросы в атмосферу при производстве кальцинированной соды из отходов производства капролактама.

Таблица 5 – Выбросы в атмосферу при производстве кальцинированной соды из отходов производства капролактама

Наименование загрязняющего вещества	Среднее значение кг/ч	Концентрация
Дымовые газы	13650	91,42
Водяные пары	360	2,41
Оксид углерода	465	3,11
Сероводород	456	3,06
Всего:	14931	100

Также в процессе производства при зачистке оборудования образуются отходы 4 – ого класса опасности, которые требуют вывоза и захоронения на полигоне.

2.2 Характеристика получаемой кальцинированной соды на предприятии ПАО «КуйбышевАзот»

С начала июля 2012 года цех № 23 стал выпускать кальцинированную соду с мощностью производства 7 тыс. т. в год. Такой вид продукта был получен благодаря реализации программы предприятия, которая была направлена на повышение эффективности производства и снижению выбросов в атмосферу.

Полученную соду использует цех №39 «Переработка органических и неорганических соединений» по очистке сточных вод в качестве нейтрализатора агент кислых стоков. Также такую соду применяют в изготовлении стеклоизделий и строительных материалов.

Производство кальцинированной соды на ПАО «КуйбышевАзот» соответствует всем техническим условиям (ТУ 2131-048-00205311-2010). Получение кальцинированной соды ведется путем термической переработки

щелочных стоков производства капролактама самого предприятия. Кальцинированная сода представляет собой чешуйки различной формы и размеров. Цвет полученной соды варьируется от светло – серого до светло – коричневого оттенков. «В таблице 6 показаны технические характеристики кальцинированной соды марки К» [28].

Таблица 6 – Технические характеристики кальцинированной соды

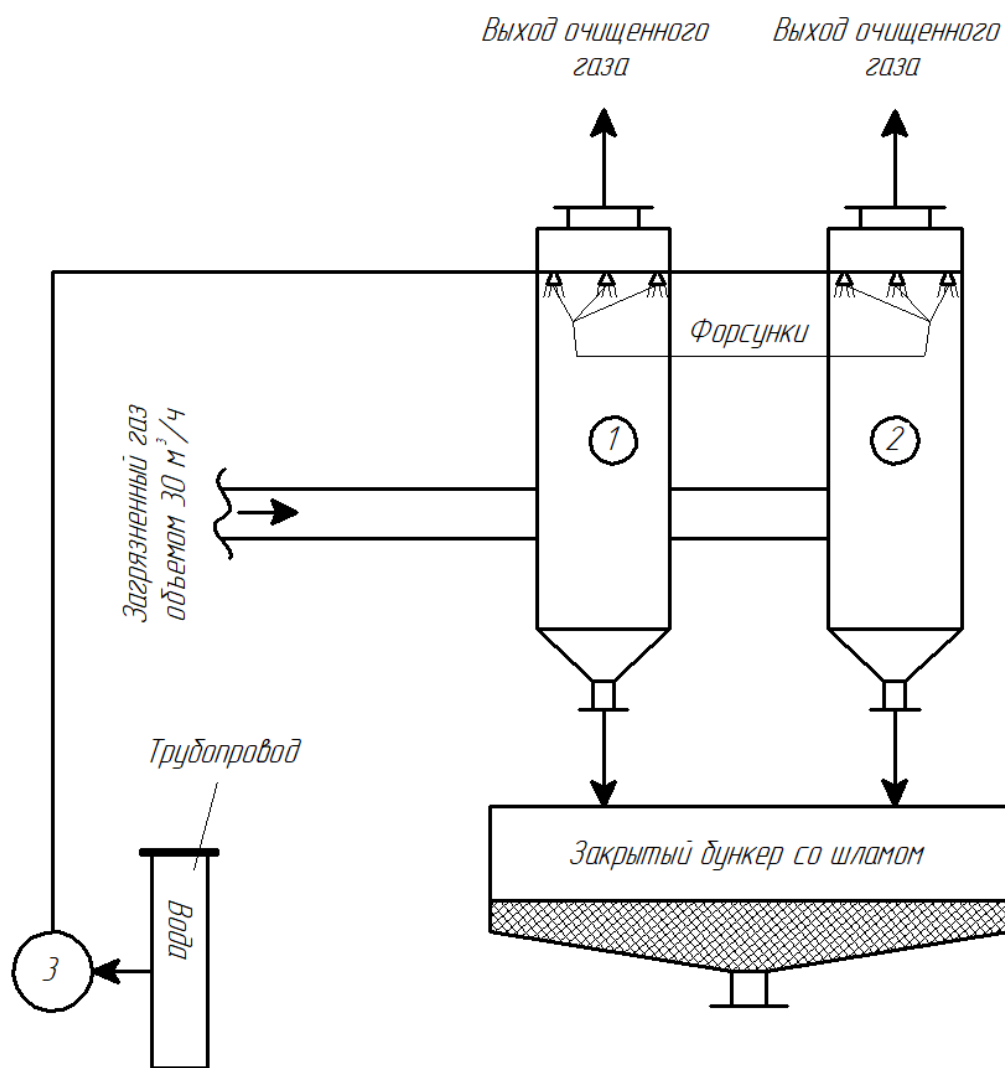
Наименование показателя	Марка К
Массовая доля Na_2CO_3 %, не менее	85,0
Массовая доля $NaOH$ %, не более	4,0
Массовая доля потерь при прокаливании %, не более	15,0
Массовая доля веществ, нерастворимых в воде % не более	1,5

Полученная кальцинированная сода является взрывобезопасной и пожаробезопасной. Является нетоксичным продуктом. Ее упаковывают в мягкий контейнер разового использования массой до 800 кг. Хранить кальцинированную соду следует в крытых складских помещениях, а также разрешается хранение в бункерах, и в любых других помещениях, где нет влаги. Доставка продукции ведется всеми видами транспорта кроме воздушного, в соответствии с правилами перевозки грузов. Срок хранения продукта составляет 6 месяцев с даты его изготовления [29].

Режим работы цеха № 23 по получению кальцинированной соды составляет 365 дней в году, 24 ч/в сутки.

Главными задачами цеха 23 являются сокращение количества полученных при производстве кальцинированной соды выбросов в окружающую среду и повышение производительности установки за счет совершенствования технологической схемы с использованием новых передовых технологий и современных систем автоматизации.

На рисунке 3 показана схема установки очистки отводящих газов.



1,2 – скруббера с общей производительностью 10000 м³/ч; 3 - насос для подачи воды на орошение

Рисунок 3 – Установка очистки загрязненного газа

Так в связи с увеличением нагрузки на предприятии возрастает и объем выхода загрязненных газов в атмосферу, поэтому предлагаемая оптимизация позволит повысить производительность продукции, при этом не ухудшая экологическую ситуацию, для этого и предлагается замена старых скрубберов на новый [33].

Вывод по технологической части. В данном разделе была рассмотрена технологическая схема производства кальцинированной соды цеха №23 путем термической переработки щелочных стоков производства

капролактама. Анализ технологического процесса получения кальцинированной соды показал высокие технико-экономические показатели исследуемого способа, так как продукт является побочным. Рассмотрены технические характеристики продукции. Определены объемы выбросов в атмосферу при протекании технологических процессов. Выявлена технологическая проблема, связанная с наращиванием объем производства основного продукта и недостаточностью производительности существующего оборудования, для обеспечения норм технологического режима. Предлагаемое техническое решение, заключающееся в установке нового скруббера большей производительности, позволит повысить номинальную нагрузку установки, а так же за счет нового оборудования улучшит качество очистки загрязнённых газов [26].

3 Расчетная часть

3.1 Расчет материального баланса полого скруббера

После газохода газы поступают в полый скруббер с температурой $t = 300^{\circ}\text{C}$ с давлением газа 0,113 МПа. На выходе из полого скруббера получаем газы с температурой $t = 200^{\circ}\text{C}$ с давлением газа 0,110 МПа. Состав поступающего газа в полый скруббер указан в таблице 7.

Таблица 7 – Состав поступающего газа

Состав	кг/ч	м ³ /ч	Концентрация %
Дымовые газы			
-азот	720	1582,42	0,455
-углекислый газ	12930	28417,58	0,455
Водяные пары	360	450	0,8
Оксид углерода	465	125,25	3,71
Сероводород	456	300	1,52
Всего:	14931	30875,25	

Рассчитаем потери дымовых газов:

$$V_{\text{п}} = \frac{V_{\text{угл}} * Q_{\text{г}}}{1000} \quad (4)$$

где: $Q_{\text{г}}$ – расход дымового газа принимаем $2\text{г}/\text{м}^3$;

$V_{\text{угл}}$ – потеря дымовых газов м³/ч (из таблицы 7).

Подставим значения в формулу (4)

$$V_{\text{п}} = \frac{(1582,42 + 28417,58) * 2}{1000} = 60 \text{ кг/ч}$$

Степень улавливания оксида углерода:

$$Z_{\text{угл}} = \left(1 - \frac{V_{\text{п}}}{V_{\text{расх}}}\right) * 100 \quad (5)$$

где: $V_{\text{п}}$ – потери оксида углерода кг/ч;

$V_{\text{расх}}$ – расход оксида углерода в газе кг/ч (из таблицы 7).

Подставим значения в формулу (5)

$$Z_{\text{угл}} = \left(1 - \frac{60}{465}\right) * 100 = 87,1\%$$

Количество поглощенного оксида углерода:

$$G = V_{\text{расх}} - V_{\text{п}} \quad (6)$$

$$G = 465 - 60 = 405 \text{ кг/ч}$$

Следовательно, из полого скруббера выходит количество оксида углерода:

$$V_{\text{угв}} = \frac{V_{\text{п}} * V_{\text{углев.}}}{V_{\text{расх}}} \quad (7)$$

Подставим значения в формулу (7)

$$V_{\text{угв}} = \frac{60 * 125,25}{465} = 16,16 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Таблица 8 – Состав выходящих газов из скруббера

Состав	кг/ч	м ³ /ч
Дымовые газы		
-азот	720	1582,42
-углекислый газ	12930	28417,58

Продолжение таблицы 8

Водяные пары	360	450
Оксид углерода	60	16,16
Сероводород	456	300
Всего:	14526	30766,16

Фактическое содержание оксида углерода в поступающем газе:

$$a_1 = \frac{1000 * G * T_0 * P}{Q_{\text{общ}} * T_{\text{вх}} * P_0} \quad (8)$$

где: G – количество поглощенного оксида углерода кг/ч;

$Q_{\text{общ}}$ – общий расход поступающего газа в полый скруббер м³/ч (из таблицы 7);

T_0 – стандартная температура, $T_0 = 273 \text{ K}$;

P_0 – стандартное давление, $P_0 = 0,1014 \text{ МПа}$;

P – давление в аппарате (берется из исходных данных).

$T_{\text{вх}}$ – температура поступающего газа, $T_{\text{вх}} = 300$.

Подставим значения в формулу (8)

$$a_1 = \frac{1000 * 465 * 273 * 0,113}{30875,25 * 300 * 0,1014} = 15,122 \text{ г/м}^3$$

Фактическое содержание оксида углерода в выходящем газе:

$$a_2 = \frac{1000 * V_{\text{п}} * T_0 * P_{\text{вых}}}{Q_{\text{общ}} * T_{\text{вых}} * P_0} \quad (9)$$

где $P_{\text{вых}}$ – давление газа выходящего из скруббера МПа, $P_{\text{вых}} = 0,11 \text{ МПа}$;

$T_{\text{вых}}$ – температура газа выходящего из скруббера К, $T_{\text{вых}} = 200 \text{ К}$.

Подставим значения в формулу (9)

$$a_2 = \frac{1000 * 60 * 273 * 0,11}{30766,16 * 200 * 0,1014} = 1,91 \text{ г/м}^3$$

Максимальное содержание оксида углерода в воде:

$$c_{1max} = 2,24 * \frac{a_2 * P_2}{p_{сф} * M_{\Pi}} \quad (10)$$

где: a_2 – количество оксида углерода в выходящем газе г/м³;

P_2 – давление газа на выходе из скруббера МПа, $P_2 = 0,113$ МПа;

M_{Π} – молекулярная масса поглотителя, $M_{\Pi} = 18$;

$p_{сф}$ – упругость паров оксида углерода над поступающей водой при $t=30^{\circ}\text{C}$;

P – давление в аппарате (берется из исходных данных).

$T_{вх}$ – температура поступающего газа, $T_{вх} = 300$.

Следовательно, находим упругость оксида углерода при $t=30^{\circ}\text{C}$:

$$c_{1max} = 2,24 * \frac{1,91 * 0,113}{0,011 * 18} = 2,44 \%$$

Рассчитаем настоящее содержание оксида углерода для создания движущей силы абсорбции вверху скруббера [27]:

$$c_1 = \frac{c_{1max}}{n} \quad (11)$$

где: n – коэффициент сдвига равновесия, $n = 1,2$.

Подставим значения в формулу (11)

$$c_1 = \frac{2,44}{1,2} = 2,03$$

Максимальное содержание оксида углерода, которое выходит из поданной воды при условии равновесия:

$$c_{2max} = 2,24 * \frac{a_1 * P_1}{p_{сф} * M_{П}} \quad (12)$$

Подставим значения в формулу (12)

$$c_{2max} = 2,24 * \frac{15,122 * 0,113}{0,012 * 18} = 17,72$$

Для сдвига равновесия вниз абсорбции принимаем коэффициент $n = 1,5$.

$$c_2 = \frac{c_{2max}}{n} \quad (13)$$

Подставим значения в формулу (13)

$$c_2 = \frac{17,72}{1,5} = 11,81$$

Минимальное количество поглотителя:

$$L_{min} = \frac{G}{C_{2max} - C_1} * 100 \quad (14)$$

Подставим значения в формулу (14)

$$L_{min} = \frac{405}{17,72 - 2,03} * 100 = 2581,26 \text{ кг/ч}$$

Действительное количество поглотителя:

$$L = \frac{G}{C_2 - C_1} * 100 \quad (15)$$

Подставим значения в формулу (15)

$$L = \frac{405}{11,81 - 2,03} * 100 = 4141,10 \text{ кг/ч}$$

Таким образом, в составе воды содержится количество оксида углерода:

$$V_{\text{уг.м}} = \frac{L * C_1}{100} \quad (16)$$

Подставим значения в формулу (16)

$$V_{\text{уг.м}} = \frac{4141,10 * 2,03}{100} = 84,06 \text{ кг/ч}$$

Выходящее количество оксида углерода:

$$V_{\text{уг.в.м}} = \frac{4141,10 * 11,81}{100} = 489,06 \text{ кг/ч}$$

Поглощение водой:

$$V_{\text{погл}} = V_{\text{уг.в.м}} - V_{\text{уг.м}} \quad (17)$$

Подставим значения в формулу (17)

$$V_{\text{погл}} = 489,06 - 84,06 = 405 \text{ кг/ч}$$

Полученные данные сведем в таблицу 10 материального баланса.

Таблица 10 – Сводная таблица материального баланса полого скруббера

Приход		% соот.	Расход		% соот.
Статьи прихода	Кг/ч		Статьи расхода	Кг/ч	
Дымовые газы			Дымовые газы		
-азот	720	3,76	-азот	720	3,76
-углекислый газ	12930	67,50	-углекислый газ	12930	67,50
Водяные пары	360	1,88	Водяные пары	360	1,88
Оксид углерода	465	2,425	Оксид углерода	60	0,31
Сероводород	456	2,375	Сероводород	456	2,34
Вода	4141,10	21,62	Вода	4141,10	21,62
			Количество поглощенного оксида углерода водой	405	2,11
Содержание углерода в составе воды	84,06	0,44	Содержание углерода в составе воды	84,06	0,44
Всего:	18691,16	100	Всего:	19156,16	100

3.2 Тепловой расчет полого скруббера

«В таблице 11 указан состав контактного газа, процентное соотношение и молекулярная масса» [17].

Таблица 11 – Состав контактного газа

Компонент газа	Масса кг,ч	Масса, %	Молек. масса	Масса кмоль/ч	% моль
Дымовые газы					
-азот	720	4,82	14	51,43	13,21
-углекислый газ	12930	86,60	44	293,86	75,49
Водяные пары	360	2,42	18	20	5,14
Оксид углерода	465	3,11	44	10,57	2,715
Сероводород	456	3,05	34	13,41	3,445
Всего:	14931	100	154	389,27	100

«В таблице 12 указаны теплофизические свойства газа» [19].

Таблица 12 – Теплофизические свойства газа

Компонент газа	Плотность ρ , кг/м ³	Динамическая вязкость, μ , Па*с*10 ⁻⁶	Теплопроводность λ , Вт/м*К*10 ⁶	Энтальпия i , кДж/кг		Теплоемкость c_p , (кДж/(кг*К))
				200К	300К	
Азот	1,12	17,77	23,4	412,84	96,31	1,040
Углекислый газ	1,77	15,17	11,60	425,77	225,47	0,851
Водяные пары	46,21	21,29	6,27	484,13	259,26	6,28
Оксид углерода	0,596	27,9	25,1	496,94	263,16	1,08
Сероводород	2,926	16,08	14,8	484,40	262,44	0,754

Находим величину теплосодержания газа при температуре входа и выхода из скруббера:

$$i_1 = 0,01 * (412,84 * 23,4 + 425,77 * 11,60 + 484,13 * 6,27 + 496,94 * 25,1 + 484,40 * 14,80) = 372,77 \text{ кДж/кг};$$

$$i_2 = 0,01 * (96,31 * 23,4 + 225,47 * 11,60 + 259,26 * 6,27 + 263,16 * 25,1 + 262,44 * 14,80) = 169,84 \text{ кДж/кг};$$

Теплоемкость газа при средней температуре:

$$c_p = 0,01 * (1,040 * 23,4 + 0,851 * 11,60 + 6,28 * 6,27 + 1,08 * 25,1 + 0,754 * 14,8) = 1,12 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{К)}.$$

Плотность газа при нормальных условиях:

$$\rho_{сг} = 1,12 * 0,1321 + 1,77 * 0,07549 + 46,21 * 0,0514 + 0,596 * 0,02715 + 2,926 * 0,03445 = 3,98 \text{ кг/м}^3.$$

Приведенная плотность при $T_{ср} = 300 \text{ К}$ и $P = 113 \text{ кПа}$

$$p_{tp}^r = 2,24 * \frac{273 * 113}{(273 + 300) * 300} = 0,4 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент динамической вязкости:

$$m_{cr} = 2,647 * 10^{-5} \text{ Па * с}$$

Молекулярная масса газа:

$$M_{cr} = 14 * 0,1321 + 44 * 0,7549 + 18 * 0,0514 + 44 * 0,02715 + 34 * 0,03445 = 38,36$$

Проверка:

$$M_{cr} = \frac{m_{cr}}{n_{cr}} \tag{18}$$

$$M_{cr} = \frac{14931}{389,27} = 38,36$$

Тепло выходящих газов при охлаждении при $t=200^{\circ}\text{C}$:

$$Q_1 = 14931 * (372,77 - 169,84) = 3029,95 \text{ МДж/ч} = 841,65 \text{ кВт}$$

Тепло, выделившееся при конденсации:

$$Q_{1'} = 360 * 2310 = 831,6 \text{ МДж/ч} = 231 \text{ кВт}$$

где: теплота конденсации при средней температуре-2310 кДж/кг.

Общая тепловая нагрузка составит:

$$Q = 841,65 + 231 = 1072,65 \text{ кВт}$$

Полученные данные сведем в таблицу 13 теплового баланса.

Таблица 13 – Сводная таблица теплового баланса полого скруббера

Приход		Расход	
Статьи прихода	кВт	Статьи расхода	Вт
Тепловая нагрузка газа	1072,65	Тепло выходящих газов при охлаждении	841,65
		Тепло испарения	231
Всего:	1072,65	Всего:	1072,65

3.3 Конструктивные расчеты основного аппарата

Рассчитаем основные геометрические размеры элементов полого скруббера требуемого для организации процесса.

Исходные данные для расчета:

Объем входящего газа: $V_0 = 30875,25 \text{ кг/ч}$

Температура входящего газа в полый скруббер: $t_1 = 300^\circ\text{C}$.

Температура выходящего газа из полого скруббера: $t_2 = 200^\circ\text{C}$.

Химический состав газа: азот-4,82%, углекислого газа-86,60%, водяные пары-2,41%, оксида углерода-3,11%, сероводород-3,05%.

Начальное влагосодержание газа: $f_1 = 12,8 \text{ г/см}^3$.

Давление газа перед полым скруббером: 113000 Па:

Барометрическое давление 101325 Па:

Температура поступающей воды в полый скруббер $t_H = 27^\circ\text{C}$.

Температура воды на выходе из скруббера: $t_K = 48^\circ\text{C}$.

Количество входящего газа поступающего в скруббер при нормальных условиях:

$$V_{н.у.} = \frac{V_0 * 0,804}{(0,804 + f_1)} \quad (19)$$

Подставим значения в формулу (19)

$$V_{н.у.} = \frac{30875,25/3600 * 0,804}{(0,804 + 0,0128)} = 8,44 \text{ м}^3/\text{с}$$

Теплоемкость компонентов при температуре 200°C:

$$c_{\text{азота}} = 1,069 \text{ кДж (м}^3 * \text{°C)}$$

$$c_{\text{угл.газа}} = 1,057 \text{ кДж (м}^3 * \text{°C)}$$

$$c_{\text{вод.пары}} = 3,02 \text{ кДж (м}^3 * \text{°C)}$$

$$c_{\text{углеводор.}} = 1,75 \text{ кДж (м}^3 * \text{°C)}$$

$$c_{\text{сероводор.}} = 1,28 \text{ кДж (м}^3 * \text{°C)}$$

Тогда:

$$c_{\text{см}} = 1,069 * 0,0482 + 1,057 * 0,8660 + 3,02 * 0,0241 + 1,75 * 0,0311 + 1,28 * 0,0305 = 1,13 \text{ кДж (м}^3 * \text{°C)}$$

Начальная и конечная энтальпия водяного пара по заданным параметрам:

$$I_{1n} = 2480 + 1,96 * t_1 = 2480 + 1,96 * 300 = 3068 \text{ кДж/кг}$$

$$I_{2n} = 2480 + 1,96 * t_2 = 2480 + 1,96 * 200 = 2872 \text{ кДж/кг}$$

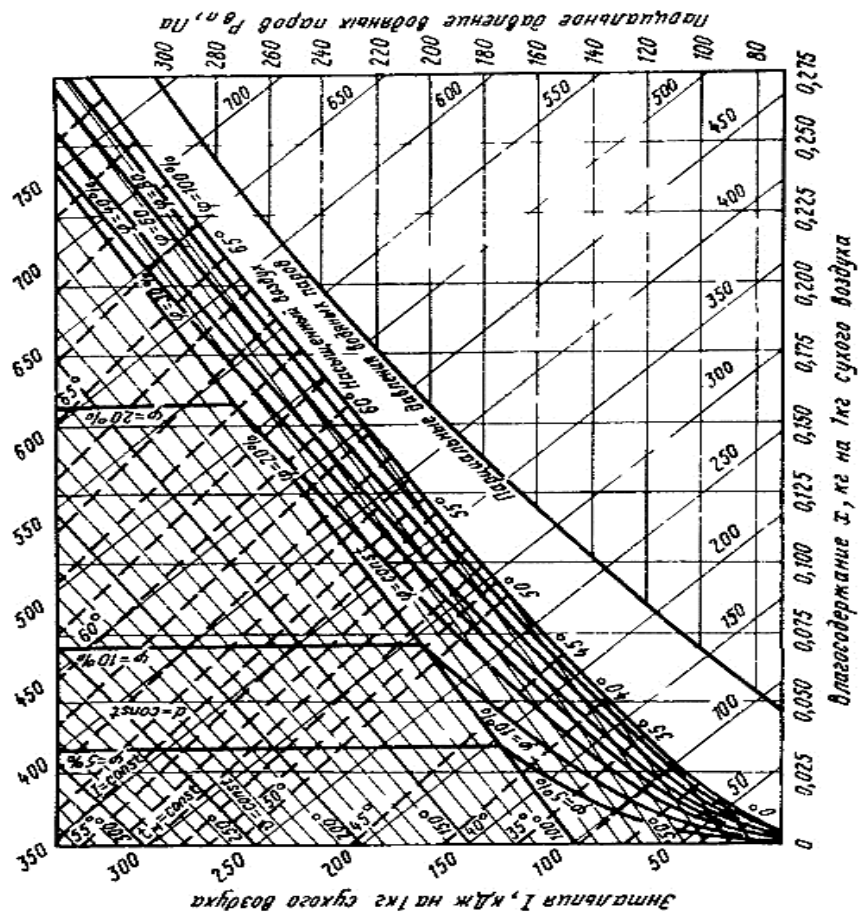


Рисунок 4 – Диаграмма I–x влажного воздуха

Количество тепла:

$$Q = V_{н.у.} * [c_{см} * (t_1 - t_2) + f * (I_{2н} - I_{1н})] \quad (20)$$

$$Q = 8,44 * [1,13 * (300 - 200) + 0,0128 * (3068 - 2872)] = 974,89 \text{ кВт} \\ = 974890 \text{ Вт}$$

Рассчитаем среднюю разность температур газа и воды в скруббере:

$$\Delta t = \frac{[(t_1 - t_H) - (t_2 - t_K)]}{2,3 \lg \frac{t_1 - t_H}{t_2 - t_K}} \quad (21)$$

Подставим значения в формулу (21)

$$\Delta t = \frac{[(300 - 27) - (200 - 48)]}{2,3 \lg * \frac{300 - 27}{200 - 48}} = 206,86 \square$$

Определяем рабочий объем скруббера, при этом коэффициент теплопередачи принимаем равным 75 Вт / (м³ *°C):

$$V_{\text{скр}} = \frac{974890}{75 * 206,86} = 62,84 \text{ м}^3$$

Рассчитаем массовый расход воды, примем коэффициент испарения Ψ равным 0,1. Удельная теплоемкость водяного пара будет 3,144 кДж / (кг °C):

$$M_{\text{в}} = \frac{Q}{[\Psi * c_{\text{п}} * (t_2 - t_{\text{н}}) + (1 - \Psi) * (t_{\text{к}} - t_{\text{н}})]} \quad (22)$$

Подставим значения в формулу (22)

$$M_{\text{в}} = \frac{974890}{[0,1 * 3144 * (200 - 27) + (1 - 0,1) * (48 - 27)]} = 17,92 \text{ кг/с}$$

Для выражения влагосодержания $f_2 = x_2 \rho_0$ находим плотность газовой смеси при нормальных условиях:

$$1,069 \text{ кДж (м}^3 * \text{°C)}$$

$$c_{\text{угл.газа}} = 1,057 \text{ кДж (м}^3 * \text{°C)}$$

$$c_{\text{вод.пары}} = 3,02 \text{ кДж (м}^3 * \text{°C)}$$

$$c_{\text{углеводор.}} = 1,75 \text{ кДж (м}^3 * \text{°C)}$$

$$c_{\text{сероводор.}} = 1,28 \text{ кДж}$$

$$p_0 = \frac{1}{100} * (p_{01} * a_1 + p_{02} * a_2 + \dots + p_{0n} * a_n) \quad (23)$$

Подставим значения в формулу (23)

$$\rho_0 = \frac{1}{100} * (1,069 * 4,82 + 1,057 * 86,60 + 3,02 * 2,41 + 1,75 * 3,11 + 1,28 * 3,05) = 1,13 \text{ кг/м}^3$$

Тогда $f_2 = 0,106 * 1,13 = 0,12 \text{ кг/м}^3$.

Рассчитаем объем газа при рабочих условиях на выходе из скруббера:

$$V = V_0 * \frac{p_{\text{раб}}(273+t)}{273(p_{\text{бар}} \pm p)} * \left(1 + \frac{f_2}{0,804}\right) \quad (24)$$

Подставим значения в формулу (24)

$$V = \frac{30875,25}{3600} * \frac{101325 * (273 + 200)}{273 * (101325 \pm 113000)} * \left(1 + \frac{0,12}{0,804}\right) = 8,07 \text{ м}^3/\text{с}$$

Определяем размеры скруббера. Приняв скорость газа в нем равной 1,0 м/с, рассчитываем диаметр скруббера:

$$D = \sqrt{\frac{4 * V}{\pi * v}} \quad (25)$$

Подставим значения в формулу (25)

$$D = \sqrt{\frac{4 * 8,07}{3,14 * 1,0}} = 3,21 \text{ м}$$

Высоту скруббера находим из уравнения:

$$H = \frac{4 \cdot V_{\text{скр}}}{\pi \cdot D^2} \quad (27)$$

Подставим значения в формулу (27)

$$H = \frac{4 \cdot 62,84}{3,14 \cdot 3,21^2} = 7,77 \text{ м}$$

Отношение $H / D = 7,77/3,21 = 2,42$ что близко к рекомендуемой практикой величине 2,5.

Рассчитаем количество форсунок для установки в скруббер. Примем к установке в скруббер эвольвентные форсунки диаметром 75 мм и с соплом диаметром 25,3 мм. Давление воды перед форсункой составляет $p=1 \cdot 10^5$ Па. По рисунку 5 производительность одной форсунки $G=8 \cdot 10^3$ кг/ч.

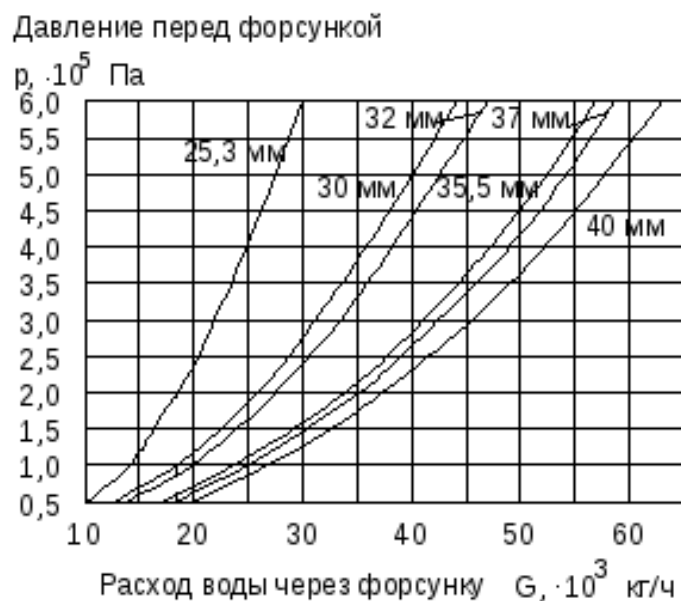


Рисунок 5 – Характеристики эвольвентных форсунок в зависимости от давления воды и диаметра сопла

Получим

$$M_1 = \frac{8 \cdot 1000}{3600} = 2,22 \text{ кг/с}$$

Число форсунок, которое требуется установить в полный скруббер, составит:

$$n = \frac{M_B}{M_1} \quad (27)$$

Подставим значения в формулу (27)

$$n = \frac{17,92}{2,22} = 9 \text{ шт.}$$

Вывод по расчетной части. В данной главе был приведен расчет материального баланса полого скруббера, способный очистить газ в количестве 30000 м³/ч. На основе полученных данных материального баланса был посчитан тепловой баланс полого скруббера. Приведен конструктивный расчет основного аппарата, снабженный двумя форсунками, через которое подается вода.

Заключение

В выпускной квалификационной работе был рассмотрен процесс переработки щелочных стоков производства капролактама. Продуктом переработки является кальцинированная сода марки К.

Была выявлена недостаточная производительность установки обезвреживания газовых выбросов. Рассмотрены общие сведения о скрубберах, которые применяются на производстве кальцинированной соды. Выполнен расчет материального баланса полого скруббера, в зависимости от количества поступающего газа на очистку. На основе материального баланса был рассчитан тепловой баланс. Предложена и обоснована замена существующих скрубберов газоочистки на один полый скруббер повышенной проиводительности.

В связи со специфичностью состава дымовых газов в качестве поглотителя предложено использовать раствор гидроксида натрия. В результате расчетов показано, что концентрация углекислого газа снизится на 87%, в сравнении с существующими скрубберами 33%. Также снизится содержание сажи.

Спроектированный полый скруббер для процессов переработки содового раствора цеха №23 на предприятии ПАО «КуйбышевАзот» будет иметь диаметр 3,2 м, и высоту 7,77 м. В качестве распылителей использованы форсунки.

Также приведен расчет полого скруббера, где определялись его геометрические характеристики и количество эвольвентных форсунок низкого давления.

В качестве обоснования выбранного оборудования были определены технологические параметры оптимизации.

Главной задачей цеха №23 и самого предприятия, заключалось в снижении газовых выбросов в атмосферу, а также быстрая окупаемость оптимизации, в чем и заключается данная работа.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Авторское свидетельство №1619646 «Способ получения кальцинированной соды и сульфата калия». Заявлен 13.12.1988 г.
2. Альперт Л.З. Основы проектирования химических установок: учебное пособие для учащихся химико-механических специализированных техникумов. М.: Альянс, 2015. 182 с.
3. Альперт Л. З. Основы проектирования химических установок: учебное пособие для учащихся химико-механических специализированных техникумов. М.: Альянс, 2018. 193 с.
4. Борисов Г. С., Брыков В. П. Основные процессы и аппараты химической технологии. / Пособие по проектированию. М.: Химия, 2015. 258 с.
5. Борисов Г. С., Брыков В. П. Основные процессы и аппараты химической технологии. / Пособие по проектированию. М.: Химия, 2015. 258 с.
6. Виды и принципы работы скрубберов [Электронный ресурс]: URL <http://www.ecolo.ru/technology/sistemy/scrubber/> (дата обращения 10.05.2022). 66 с.
7. Гичев Ю.А. Очистка газов. Часть 1 [Электронный ресурс]: Конспект лекций. URL: https://nmetau.edu.ua/file/19._gichev_yu.a._ochistka_gazov._chast_i.pdf . 26 с. (дата обращения 1.06.2022).
8. Горфенкел. В. Я., Швандара В. А. Экономика предприятия. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2004. 659с.
9. ГОСТ 23519 – 93 «Фенол синтетический технический».
10. Дытнерский Ю. И., Борисов Г. С., Брыков В. П. Основные процессы и аппараты химической технологии. М.: Альянс, 2018. 192.
11. Карлик А. Э., Шухгальтер М. Л. Экономика предприятия: учеб. пособие для вузов. М.: ИНФРА, 2003. 431с.

12. Карлик А. Э., Шухгальтер М. Л. Экономика предприятия: учеб. пособие для вузов. М.: ИНФРА, 2003. 435 с.
13. Кузьменко Н. М., Афанасьев Ю. М., Фролов Г. С., «Очистка природного газа от сернистых соединений». М, ЦИНТИХимнефтемаш 1990 г.
14. Мазус М.Г. Курс инженерной экологии. М: Альянс, 2018. 187 с.
15. Макрушина Ю. А. «Модернизация стадии абсорбции реакционных газов» 2019 г.
16. Манойло Е. В., Манойло Ю. А., Моисеев В. Ф. «Применение отходов содового раствора», 2010 г.
17. Мельников Е. Я. Справочник азотчика. М.: ЕЕ Медиа, 2018. 271 с.
18. Миличева Н.Н., Саблина А.М. «Наилучшие доступные технологии снижения выбросов пыли в атмосферный воздух, применяемые в различных отраслях промышленности». 2018 г.
19. Никольский Б. П. Григоров О. Н, Позина М. Е. Справочник химика. Том 2. М.: ЕЕ Медиа, 2018. 455 с.
20. Павлов К. Ф., Романков П. Г., Носков А. А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. М.: Альянс, 2018. 167 с.
21. Панов С. Ю., Химвинга М., Зинковский А. В. «Повышение эффективности аппарата распылительного типа при решении проблем промышленной экологии» 2014 г.
22. Патент РФ №2736461 «Способ получения кальцинированной соды из природного содосодержащего сырья». Заявлен 17.11.2020 г.
23. Патент РФ №2283282 «Способ получения кальцинированной соды». Заявлен 26.04.2005 г.
24. Патент РФ №2015151158 «Способ переработки твердых отходов производства кальцинированной соды аммиачным методом». Заявлен 27.11.2015 г.

25.Пронин В. А., Долговская О. В., Татаренко Ю. В., Гармалыга Ю. «Исследование насадок орошаемого скруббера в системах регенерации воздуха при поглощении CO₂». с. 43-48. 2019 г.

26.Рустамов Э. С. «Очистка выбросов газообразных веществ промышленных предприятий». 2016 г.

27. Таран А. Л., Рустамбеков М. К., Долгалев Е. В. Перспективные технологии производства экологически и технологически безопасных азотсодержащих минеральных удобрений [Электронный ресурс]: Журнал Химическая техника. URL: <https://chemtech.ru/category/magazine/> (дата обращения 02.03.2020).

28. ТУ 2131-048-00205311-2010 «Сода кальцинированная сорт К».

29. Jürgen Kunze, Hans-Peter Fink « Structural Changes and Activation of Cellulose by Caustic Soda Solution with Urea», 2005.

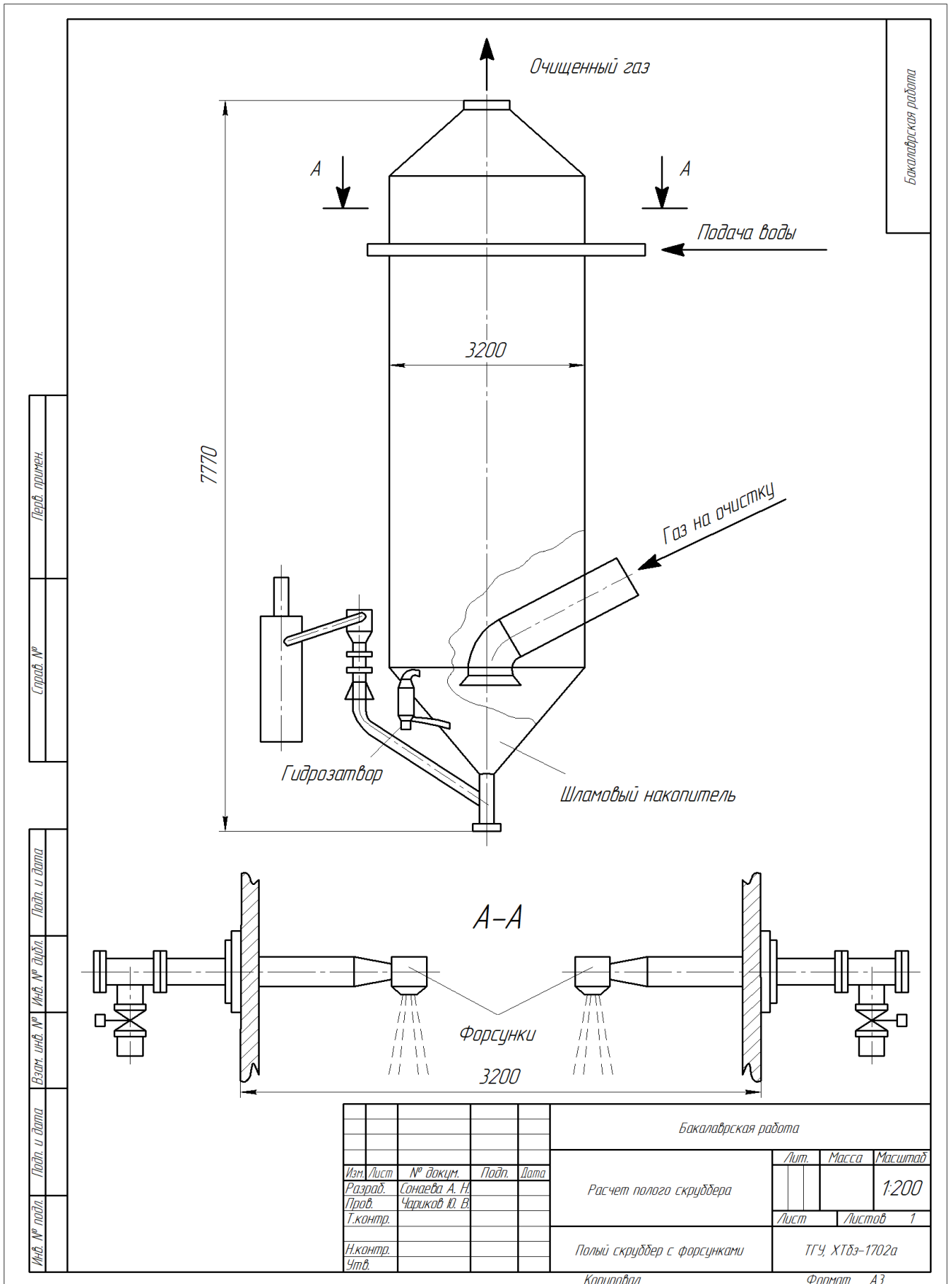
30. Kasikowski T., Buczkowski R., Dejewski B., Peszyńska-Białczyk K., Lemanowska E., Igliński B. «Utilization of distiller waste from ammonia-soda processing» 2004, pages 759-769.

31. Krupp Uhde. A company of Thyssen Krupp Technologies [Электронный ресурс]: Chemie – mehr Effizienz, weniger Emissionen. URL: <https://www.thyssenkrupp.com/de/produkte/chemie> (дата обращения 19.07.2022).

32. Patadia A. T., Tekchandani M. N. Система управления технологией, охраной окружающей среды и техникой безопасности в производстве нитрата аммония и кальций аммоний нитрата на GNFC. / International conference & Exhibition. NITROGEN 2000-Vienna, March 2000.

33. Valkov S., Kaltenbach Thuring SA. Грануляция нитрата аммония и кальций-аммоний-нитрата с использованием барабанного гранулятора с кипящим слоем. / International conference & Exhibition. NITROGEN 2000-Vienna, March 2000.

Приложение А



Полый скруббер с форсунками