

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Тольяттинский государственный университет

М.В. Кравцова, Т.П. Гуцина

ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ И УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ

ВЫПОЛНЕНИЕ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Электронное учебно-методическое пособие



© ФГБОУ ВО «Тольяттинский государственный университет», 2023
ISBN 978-5-8259-1312-4

УДК 66.011
ББК 35.100.09

Рецензенты:

канд. техн. наук, заместитель начальника
проектно-конструкторского бюро ПАО «КуйбышевАзот»
К.В. Мукалин;
д-р хим. наук, профессор кафедры «Химическая технология
и ресурсосбережение» *Г.И. Остапенко.*

Кравцова, М.В. Технология переработки и утилизации отходов. Выполнение курсовой работы : электронное учебно-методическое пособие / М.В. Кравцова, Т.П. Гущина. – Тольятти : Изд-во ТГУ, 2023. – 1 оптический диск. – ISBN 978-5-8259-1312-4.

Учебно-методическое пособие разработано для выполнения курсовой работы по дисциплине «Технологии переработки и утилизации отходов 2».

Предназначено для бакалавров направления подготовки 18.03.02 «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии», направленность (профиль) «Рациональное природопользование, рециклинг и утилизация отходов» и «Рациональное использование энергетических и сырьевых ресурсов».

Пособие может быть полезно химикам-технологам, экологам на предприятиях химического и нефтехимического профиля.

Текстовое электронное издание.

Рекомендовано к изданию научно-методическим советом Тольяттинского государственного университета.

Минимальные системные требования: IBM PC-совместимый компьютер: Windows XP/Vista/7/8/10; PIII 500 МГц или эквивалент; 128 Мб ОЗУ; SVGA; CD-ROM; Adobe Acrobat Reader.

© Кравцова М.В., Гущина Т.П., 2023

© ФГБОУ ВО «Тольяттинский
государственный университет», 2023

Редактор *Т.М. Воропанова*
Технический редактор *Н.П. Крюкова*
Компьютерная верстка: *Л.В. Сызганцева*
Художественное оформление,
компьютерное проектирование: *И.И. Шишкина*

В оформлении пособия использованы изображения
от storyset и renata.s на сайте Freepik.

Дата подписания к использованию 03.03.2023.

Объем издания 1,8 Мб.

Комплектация издания: компакт-диск,
первичная упаковка.

Заказ № 1-38-21.

Издательство Тольяттинского государственного университета
445020, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14,
тел. 8 (8482) 44-91-47, www.tltsu.ru

Содержание

ВВЕДЕНИЕ	5
ПОЯСНЕНИЕ К ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ.....	7
ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОЙ РАБОТЫ 1.....	15
ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОЙ РАБОТЫ 2.....	37
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	62
Приложение А	65
Приложение Б	66
Приложение В	67

ВВЕДЕНИЕ

Учебно-методическое пособие предназначено для выполнения курсовой работы по дисциплине «Технологии переработки и утилизации отходов 2» для бакалавров направления подготовки 18.03.02 «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии», профиль «Рациональное природопользование, рециклинг и утилизация отходов» и «Рациональное использование энергетических и сырьевых ресурсов в химической технологии и нефтехимии».

Учебно-методическое пособие может быть полезно специалистам-технологам, инженерам-химикам и экологам на предприятиях химического и нефтехимического профиля.

Цель курсовой работы – формирование практических навыков организации использования энерго- и ресурсосберегающих процессов на предприятиях химического, нефтехимического и биотехнологического профилей.

Задачи

1. Обосновать выбор энерго- и ресурсосберегающего процесса (установки) на предприятии.
2. Провести расчет материального и энергетического (если предусмотрено технологическим процессом) балансов для выбранной технологии.
3. Предоставить преимущества выбранной технологии (экономическое, экологическое обоснование).

Выполнение данной работы является обобщающим и заключительным этапом подготовки студентов к профессиональной деятельности в качестве специалистов – инженеров по ресурсосбережению и химиков-технологов. Выполнение работы способствует развитию умения использовать полученные знания и навыки при изучении профильных дисциплин, а также расширяет теоретические и практические навыки студентов для самостоятельных предложений по внедрению прогрессивных технологических процессов на предприятиях.

Одной из главных задач любой технологии являются материальные и тепловые балансы. Балансы считаются основой всех техноло-

гических расчетов, с помощью которых определяются важнейшие размеры и число аппаратов, необходимых для осуществления процесса при заданной производительности.

Трудности расчета возрастают для технологических процессов с рециркуляцией материальных потоков, которая широко применяется в практике, так как очень часто максимальная производительность оборудования достигается не при полной конверсии, а при каком-то оптимальном ее значении. Некоторые же процессы протекают в таких условиях, когда полная конверсия вообще не может быть достигнута по термодинамическим причинам или вследствие химического связывания части сырья образующимися продуктами реакции. В этих случаях исходный продукт, полностью или частично выделенный из реакционной смеси, может направляться снова в реактор. В многостадийных процессах, осуществляемых в нескольких реакторах, наряду со свежей загрузкой в тот или иной реактор на переработку могут быть направлены аналогичные продукты последующих стадий, что приводит к сложной системе рециркуляции потоков и еще более затрудняет расчет.

Учебно-методическое пособие апробировано в учебном процессе в Тольяттинском государственном университете в течение трех лет. Для повышения уровня восприятия содержания в пособии представлено два примера выполнения работы.

ПОЯСНЕНИЕ К ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ

Структура курсовой работы

Структура курсовой работы по дисциплине «Технологии переработки и утилизации отходов 2» включает в себя:

Титульный лист (прил. А).

Задание (прил. Б).

Содержание курсовой работы:

Введение.

1. Описание технологической установки/процесса (технологическая схема, стадии технологического процесса, технологические показатели). Обоснование выбора.

2. Расчет материального и энергетического (если предусмотрено технологическим процессом) балансов.

3. Анализ преимуществ предлагаемой технологии.

Заключение.

Список используемых источников.

Содержание первого раздела курсовой работы

В разделе «Описание технологической установки/процесса (технологическая схема, стадии технологического процесса, технологические показатели)» необходимо привести описание процесса, который в работе будет рассчитан, представить схему процесса (обязательно), определить потоки, представить технологические параметры. Необходимо также обозначить проблему, которая будет решена. Таким образом, описание рассматриваемого процесса должно заканчиваться основными проблемами и представлением их решения, так как в работе необходимо провести расчет до изменения и после проведения совершенствования технологического процесса и провести сравнительный анализ.

Описания всего производства в работе не требуется, необходимо сразу представить описание рассматриваемого технологического процесса и проблем, которые необходимо устранить с позиции энерго- и ресурсосбережения.

Схемы, которые представляются в работе, должны отражать только тот технологический процесс, который рассматривается, не нужно оценивать все производство.

Технологические показатели в работе представляются только те, которые необходимы в дальнейшем для расчета технологических процессов.

В работе, делая анализ недостатков технологического процесса, нужно представить анализ на основе существующих наилучших доступных технологий с ссылками на информационные технические справочники и указанные в них технологические нормативы. Перечень информационно-технических справочников по наилучшим доступным технологиям представлен в таблице.

*Перечень информационно-технических справочников
по наилучшим доступным технологиям*

№ п/п	Наименование ИТС НДТ	Аббревиатура	Статус
1	Производство целлюлозы, древесной массы, бумаги, картона	ЦБП	Утвержден
2	Производство аммиака, минеральных удобрений и неорганических кислот	НРК	Утвержден
3	Производство меди	МЕД	Утвержден
4	Производство керамических изделий	КЕРАМ	Утвержден
5	Производство стекла	СТК	Утвержден
6	Производство цемента	ЦЕМ	Утвержден
7	Производство извести	ИЗВ	Утвержден
8	Очистка сточных вод при производстве продукции (товаров), выполнении работ и оказании услуг на крупных предприятиях	ОПСВ	Утвержден
9	Обезвреживание отходов термическим способом (сжигание отходов)	ТОО	Утвержден
10	Очистка сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений, городских округов	ОСВП	Утвержден
11	Производство алюминия	АЛМ	Утвержден
12	Производство никеля и кобальта	НК	Утвержден
13	Производство свинца, цинка и кадмия	СЦК	Утвержден

№ п/п	Наименование ИТС НДТ	Аббре-виатура	Статус
14	Производство драгоценных металлов	ПДМ	Утвержден
15	Утилизация и обезвреживание отходов (кроме обезвреживания термическим способом (сжигание отходов))	УиОО	Утвержден
16	Горнодобывающая промышленность. Общие процессы и методы	ГДП	Утвержден
17	Размещение отходов производства и потребления	РО	Утвержден
18	Производство основных органических химических веществ	ООВ	Утвержден
19	Производство твердых и других неорганических химических веществ	НЕОРГ	Утвержден
20	Промышленные системы охлаждения	ПСО	Утвержден
21	Производство оксида магния, гидроксида магния, хлорида магния	МАГ	Утвержден
22	Очистка выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух при производстве продукции (товаров), а также при проведении работ и оказании услуг на крупных предприятиях	ОВЗВ	Утвержден
22	Общие принципы производственного экологического контроля и его метрологического обеспечения	ПЭК	Утвержден
23	Добыча и обогащение руд цветных металлов	ДРЦМ	Утвержден
24	Производство редких и редкоземельных металлов	ПРМ	Утвержден
25	Добыча и обогащение железных руд	ЖР	Утвержден
26	Производство чугуна, стали и ферросплавов	ЧСФ	Утвержден
27	Производство изделий дальнейшего передела черных металлов	ПДМЧ	Утвержден
28	Добыча нефти	ДН	Утвержден
29	Добыча природного газа	ДПГ	Утвержден
30	Переработка нефти	ПН	Утвержден
31	Производство продукции тонкого органического синтеза	ТОС	Утвержден
32	Производство полимеров, в том числе биоразлагаемых	ПО-ЛИМ	Утвержден

№ п/п	Наименование ИТС НДТ	Аббре-виатура	Статус
33	Производство специальных неорганических химикатов	СПЕЦХ	Утвержден
34	Производство прочих основных неорганических химических веществ	ПРНХВ	Утвержден
35	Обработка поверхностей, предметов или продукции органическими растворителями	ОПОР	Утвержден
36	Обработка поверхностей металлов и пластмасс с использованием электролитических или химических процессов	ОПЭХ	Утвержден
37	Добыча и обогащение угля	ДОУ	Утвержден
38	Сжигание топлива на крупных установках в целях производства энергии	КТЭУ	Утвержден
39	Производство текстильных изделий (промывка, отбеливание, мерсеризация, крашение текстильных волокон, отбеливание, крашение текстильной продукции)	ПТИ	Утвержден
40	Дубление, крашение, выделка шкур и кожи	КОЖ	Утвержден
41	Интенсивное разведение свиней	ИРС	Утвержден
42	Интенсивное разведение сельскохозяйственной птицы	ИРП	Утвержде-но
43	Убой животных на мясокомбинатах, мясохладобойнях, побочные продукты животноводства	УИПП	Утвержден
44	Производство продуктов питания	ПП	Утвержден
45	Производство напитков, молока и молочной продукции	ПМП	Утвержде-но
46	Сокращение выбросов загрязняющих веществ, сбросов загрязняющих веществ при хранении и складировании товаров (грузов)	СКЛАД	Утвержден
47	Системы обработки (обращения) со сточными водами и отходящими газами в химической промышленности	СВиОГ	Утвержден
48	Повышение энергетической эффективности при осуществлении хозяйственной и (или) иной деятельности	ЭЭ	Утвержден
49	Добыча драгоценных металлов	ДДМ	Утвержден
50	Переработка природного и попутного газа		Утвержден

Выполнение расчетов по составлению материальных, тепловых балансов и балансов времени требует ясного представления о существе процессов, протекающих на различных стадиях в том или ином аппарате, а при сложном составе и рециркуляции перерабатываемых материалов – еще и соблюдения определенной последовательности.

Целесообразно придерживаться следующего порядка:

1. Изобразить технологическую схему и составить перечень операций (для периодического процесса), из которых складывается полный цикл работы аппаратов.
2. Составить диаграмму материального и теплового балансов с нанесением на них всех известных числовых данных о количествах и составах потоков.
3. Составить уравнения химических процессов, протекающих в аппаратах, с указанием доли исходного вещества, расходуемого по каждой реакции (основной и побочным), и тепловых эффектов реакций.
4. Выбрать единицы расчета; подобрать физические, химические константы, технологические данные, необходимые для расчета.
5. Произвести расчет баланса времени (для периодического процесса).
6. Произвести расчет материального баланса.
7. Рассчитать тепловой баланс.

Таким образом, прежде всего нужно составить технологическую схему процесса, причем необходимо тщательно проанализировать возможные ее варианты и выбрать оптимальный.

Эту схему можно выполнить в виде наброска, но достаточно подробно должны быть нанесены все без исключения линии материальных потоков, как основных, так и вспомогательных, второстепенных. Линии желательно охарактеризовать, указав известные данные о составах и величинах потоков, а также температуры и давления. Когда все это представлено на схеме, легко установить, какие недостающие величины подлежат определению расчетным путем. Далее необходимо составить диаграммы материальных и тепловых балансов, а для периодических процессов – и перечень операций полного цикла работы.

При отсутствии рециркуляции диаграммы можно изображать упрощенно. Материальные или тепловые потоки, приходящие в аппарат, изображают прямыми линиями, сходящимися в одной точке, а уходящие из аппарата — прямыми линиями, расходящимися из одной точки. На таких диаграммах необходимо указывать все без исключения приходные и расходные статьи баланса, даже в том случае, если впоследствии некоторыми из них (второстепенными, незначительными) можно будет и пренебречь. Составление диаграмм балансов очень облегчается наличием хорошо выполненной технологической схемы.

Для процессов с рециркуляцией потоков диаграммы лучше выполнять не линиями, а полосами, ширина которых в известной мере количественно характеризует величины потоков.

Следующим этапом расчета балансов является составление уравнений всех химических реакций, протекающих в аппаратуре. При этом каждое уравнение должно включать и тепловой эффект реакции.

В результате проделанной в указанном порядке работы можно установить, какие значения отдельных статей балансов нуждаются в определении, и выяснить, какие математические соотношения из заданных, известных или постоянных величин надо составить для нахождения неизвестных значений. При этом одновременно выясняется, какие физические, химические константы и технологические данные необходимо собрать, чтобы произвести расчет. Кроме того, на данном этапе расчета следует обсудить и наметить наиболее выгодные условия работы проектируемого аппарата. Дело в том, что можно задаваться многими условиями, например, температурой охлаждающей воды, видом охлаждения (рассольное или водяное), рабочим давлением в разделительных системах и т. д., но следует принимать во внимание конкретную обстановку и результаты тщательного анализа.

Выбор единиц расчета производится в зависимости от характера процесса. Для материальных балансов непрерывных процессов чаще всего в качестве единицы расчета принимают кг/ч или кг/с, для тепловых — кДж/ч или кДж/с (кВт). При периодических процессах соответственно кг/цикл или кДж/цикл. Иногда расчеты

выполнять удобнее, пользуясь молярными единицами — кмоль/ч, кмоль/с. В сложных случаях приходится по ходу расчета применять разные единицы.

Последним этапом в подготовке к расчетам балансов является подбор необходимых констант и данных из литературных источников и материалов соответствующих производств. В разных литературных источниках данные могут быть выражены как в системе СИ, так и в МКГСС, поэтому нужно сразу же произвести пересчеты на СИ размерности. Кроме того, часть данных может быть приведена в неявном виде (графики, формулы и т. п.). В этом случае следует отыскать интересующие величины путем решения соответствующих уравнений, графической интерполяции и другими приемами. Все полученные после обработки единообразные данные рекомендуется записать в виде таблицы.

Для расчета периодических процессов, как уже указывалось, необходим еще и баланс времени. Полный цикл работы периодически действующего аппарата складывается из целого ряда последовательных операций. Например, для периодически действующей ректификационной колонны характерны следующие повторяющиеся в каждом цикле операции: подготовка колонны к загрузке, загрузка, прогрев и работа без отбора, отбор первой фракции, второй фракции и т. д., удаление кубовых остатков, проверка состояния колонны, мелкий ремонт. Возможен также простой колонны между двумя циклами. Все операции необходимо учесть и записать как отдельные статьи баланса времени, каждая из которых будет использована для нахождения нужных величин, в частности размеров аппаратов. Так, на основании времени, принятого для загрузки колонны, следует рассчитывать диаметр штуцера питания. Располагая всеми нужными соотношениями между известными и неизвестными величинами, входящими в отдельные статьи балансов, а также необходимыми константами и другими величинами, можно приступить непосредственно к основным расчетам материальных и тепловых балансов.

Анализ преимуществ предлагаемой технологии

В разделе необходимо кратко описать преимущество предлагаемой технологии, опираясь на проведенные выше расчеты, показать

экономии материальных и энергетических ресурсов. Обосновать необходимость и возможность применения предлагаемых технологий.

Заключение

В заключении представляются результаты работы каждого раздела, а также определяются возможности внесения рассматриваемой технологии как наилучшей доступной технологии с обоснованием технологических нормативов.

ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОЙ РАБОТЫ 1

1 Описание технологической установки

При производстве этилена используется пиролиз парафиновых и нафтеновых углеводородов, а также дегидратация этилового спирта.

Кроме того, этилен получают в качестве побочного продукта при термической переработке твердого топлива, термическом и каталитическом крекинге нефти и др.

1.1 Получение этилена

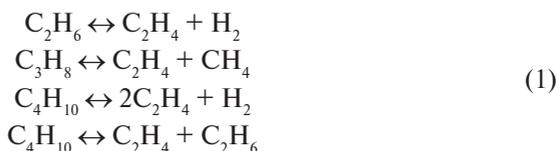
1.1.1 Пиролиз предельных углеводородов

Использование высокотемпературного термического расщепления некоторых углеводородов является одним из основных промышленных методов производства этилена.

Существуют различные способы подвода тепла:

1. Пиролиз, происходящий в трубчатых печах.
2. Гомогенный пиролиз.
3. Автотермический пиролиз.
4. Применение твердых теплоносителей.

В формуле (1) приведены примеры реакций получения этилена.



Принципиальные схемы и режимы различных процессов пиролиза приведены в таблице 1.1. В таблице 1.2 приводятся результаты производства этилена в России.

Таблица 1.1 – Принципиальные схемы и режимы различных процессов пиролиза

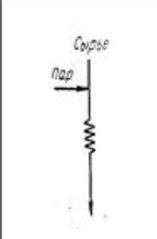
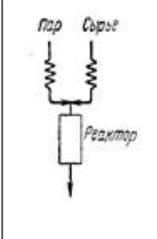
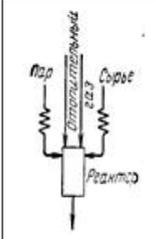
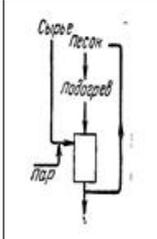
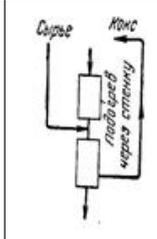
Пиролиз в трубчатых печах	Гомогенный пиролиз	Автотермический пиролиз	С применением твердого теплоносителя	
			песок	кокс
Принципиальная схема				
				
Метод передачи тепла				
Через стенку	Смешение с перегретым паром	Непосредственный контакт с продуктами горения	Непосредственный контакт с твердыми теплоносителями	
Сырье				
Этан, пропан, легкий и тяжелый бензин	Легкий бензин	Легкий бензин, нефть		Нефть
Весовое соотношение пар:сырье				
0,3–1:1	2–2,5:1	2,0:1	0,7–1:1	–
Конечная температура, °С				
740–820	720–750	800	720–850	700
Время контакта, с				
1–2	1–2	$1,3 \cdot 10^{-2}$	0,4–0,6	3–4

Таблица 1.2 – Производство этилена в России

Название завода	Процентное соотношение, %
Ангарский завод полимеров	8,3
Газпромнефтехим, Салават	9,6
Казаньоргсинтез	15,4
Нефтехимия	2,2
Нижнекамск-нефтехим	25,0
Сибур-нефтехим	10,2
Сибур-Химпром	1,4
Ставролен	13,4
Томск-нефтехим	10,4
Уфаоргсинтез	3,9

1.1.2 Каталитическое гидрирование ацетилена в этилен

В производстве этилена существует процесс его получения путем гидрирования ацетилена.

Получение этилена путем гидрирования ацетилена описано реакцией (2):



Оптимальная температура процесса должна находиться в пределах от 180 до 320 °С. Данный промежуток температуры зависит от выбранного катализатора. Данный процесс изображен на рисунке 1.1.

Полученный из карбида кальция ацетилен сжимают в компрессорной установке 1 до давления, равного 1,5–2 атмосферы. Далее в холодильной установке 2 охлаждают и очищают в адсорбере 3 с помощью твердого адсорбента. В качестве адсорбента выбирают алюмогель. Очищение проводят для того, чтобы отделить пары масла, так как они являются ядом для катализатора.

Далее ранее подготовленный водород на стадии газоразделения с чистотой 96–98 % сжимают в компрессорной установке 4. В холодильнике 5 происходит охлаждение смеси, после чего в адсорбере 6 также сушат и отделяют пары масел. Подогретый водород и ацетилен поступают в реактор 7. Подогрев происходит за счет тепла реакции, но в большинстве случаев тепловую энергию поддерживают

с помощью теплообменников. Нужный режим температуры поддерживают автоматической системой, суть которой состоит в том, чтобы происходила непрерывная подача охлаждающей воды в трубки теплообменника реактора.

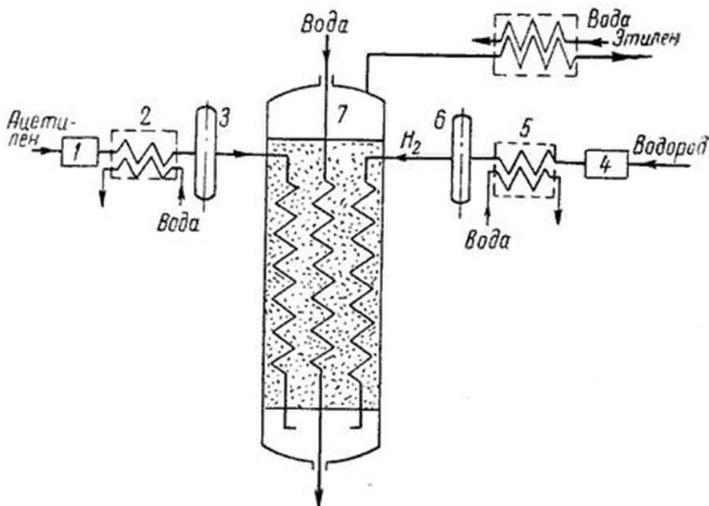


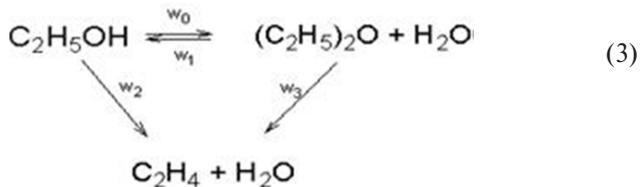
Рисунок 1.1 – Принципиальная схема установки
(<https://ok-t.ru/studopedia/baza18/269386415964.files/image009.jpg>)

Данный процесс гидрирования ацетилена ведется при избытке водорода. Ацетилен гидрируется почти полностью. Как катализатор в данном процессе используется палладий, предварительно нанесенный на слой силикагеля. По массе содержание палладия не должно превышать 0,01 от массы всего катализатора. Время действия катализатора – около 1 года при условии, что реактор работает непрерывно.

1.1.3 Дегидратация этилового спирта

При получении небольшого количество этилена (до 3000 т/год) применяется дегидратация этилового спирта. Применяя данный способ, в США в середине прошлого века было получено около 15 тысяч тонн этилена.

Данный процесс дегидратации этанола изображен реакцией (3):



Активированная окись алюминия применяется как катализатор. В виде катализатора также можно взять алюмокремниевые соединения. Дегидратация происходит при соблюдении температуры в пределах от 300 до 400 °С.

На рисунке 1.2 изображена схема дегидратации этанола.

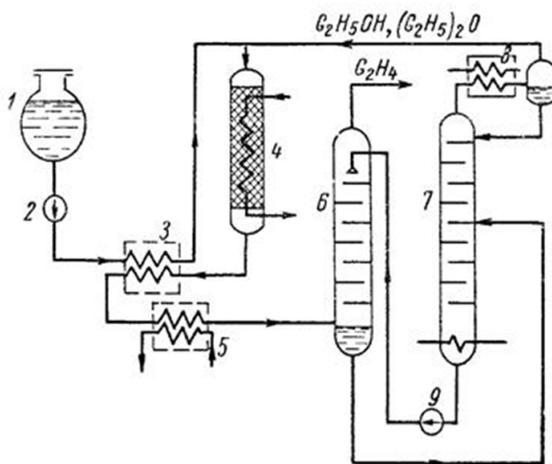


Рисунок 1.2 – Схема установки дегидратации этанола
 (<https://ok-t.ru/studopedia/baza18/269386415964.files/image013.jpg>)

Этанол подают из емкости 1 с помощью насоса 2 через теплообменные трубы 3 в реактор 4. Температуру поддерживают с помощью дымовых газов. Продукты реакции в виде этилена, этилового спирта и диэтилового эфира повторно проводят через теплообменник 3 и конденсируют воду, этанол и диэтиловый эфир в конденсаторе 5.

В ректификационной колонне 6 смесь делят на газовую и жидкую фазы. Газовая фаза состоит из этилена. Потом сушат и очищают твердым сорбентом, после чего ее направляют потребителю.

Жидкую фазу подают в колонну 7, где конденсируют ее с помощью оросителя 8. В колонне смесь разделяется на верхние и нижние фракции. Нижняя фракция состоит из воды, а верхняя — из этилового спирта и диэтилового эфира. Далее верхнюю фракцию подают в реактор 4, а нижнюю с помощью насоса 9 перекачивают в адсорбер 6. В данном методе получения этилена достигается полное превращение этилового спирта в этилен.

1.1.4 Получение этилена из нефтезаводских газов

При термическом и каталитическом крекинге выделяются газы, содержащие 2–2,5 % этилена.

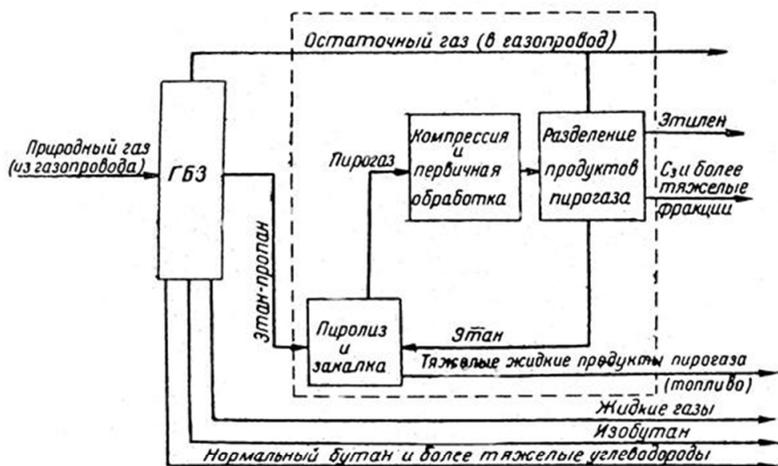
Схема получения этилена из термических и каталитических газов изображена на рисунке 1.3. Из блок-схемы видно, что нефтезаводские газы очищаются, компрессуются и сушатся на первоначальной стадии. Перед компрессором к общему потоку газов присоединяется газ пиролиза, содержащий около 35 % этилена. После компрессора выделяют тяжелые углеводороды и осушают смесь. Потом поток подают на газоразделение. После стадии газоразделения основным продуктом реакции является этен, а углеводороды в виде этана и пропана возвращаются на стадию пиролиза.

В химической промышленности получили распространение следующие методы разделения содержащих этилен газов: низкотемпературная ректификация, абсорбция, адсорбция. Кроме того, для извлечения этилена из смесей углеводородных газов с другими компонентами нашла некоторое применение хемосорбция.

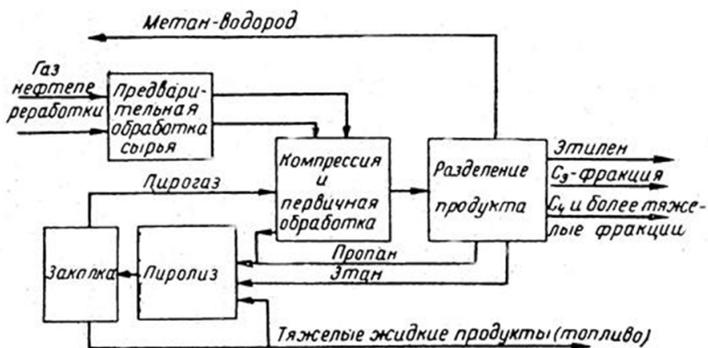
Применяемые в промышленности методы разделения отличаются главным образом технологией процесса извлечения. Подготовка пирогаза к разделению осуществляется в основном одними и теми же методами, но несколько изменяется в зависимости от метода получения исходного газа, его состава, метода извлечения и состава конечного продукта. Фракционирование всегда проводят методом ректификации, независимо от метода извлечения. Поэтому установки разделения углеводородных газов классифицируются по методам, которыми осуществляется процесс извлечения.

Для получения чистого продукта необходимо многократное повторение операции разделения, потому что этилен ни при кон-

денсации, ни при адсорбции или абсорбции не переходит один в жидкую фазу или адсорбент, а также не остается один в газовой фазе. Сначала всегда получают концентрированную смесь, которую в дальнейшем подвергают фракционировке.



а



б

Рисунок 1.3 – Блок-схема процесса получения этилена из природных газов

(<https://ok-t.ru/studopedia/baza18/269386415964.files/image015.jpg>)

Переработке подвергаются газы, содержащие этилен больше 10 %. При использовании газа с более низкими концентрациями вынужденной мерой является использование абсорбционных, адсорбционных и низкотемпературных методов с целью обогатить газ.

Используемые газы для получения этилена могут быть очень разнообразными. В их состав могут входить водород, бензол, азот, углекислый газ.

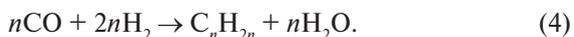
1.1.5 Получение этилена путем олигомеризации оксида углерода (процесс Фишера – Тропша)

Процесс Фишера – Тропша представляет собой химическую реакцию, которая происходит в присутствии катализатора, где оксид углерода и водород преобразуется в различные углеводороды. Иначе смесь оксида углерода и водорода называется синтез-газ.

Катализаторами процесса выступают такие металлы, как рутений, кобальт, железо, никель.

Назначение процесса. Данный метод используется при производстве синтетических углеводородов для использования в качестве синтетического топлива или смазочного материала.

Химизм процесса. Происходит восстановительная олигомеризация оксида углерода. Данный процесс описывается формулой (4):



На рисунке 1.4 изображена принципиальная схема процесса синтеза Фишера – Тропша.

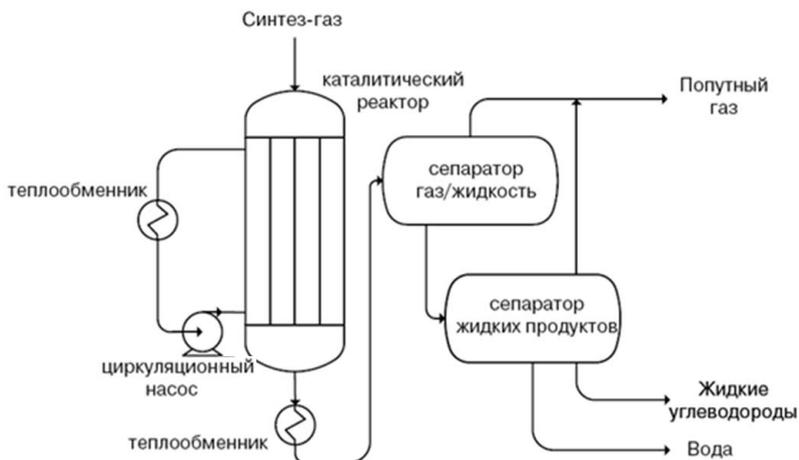


Рисунок 1.4 – Принципиальная схема процесса синтеза Фишера – Тропша (https://www.massflow.ru/u/www/images/solutions/Infra_scheme.jpg)

1.2 Физико-химические свойства этилена

Этилен, его еще называют этен, является легким бесцветным газом, имеющим слабый эфирный запах. При температуре, равной минус 103,8 °С, этен переходит в сжиженное состояние. Плотность данного газа равняется 1,26 кг/м³. К сожалению, из-за своих физических характеристик транспортировку жидкого этилена в России применяют очень редко в связи с высокой стоимостью оборудования для перевода газообразного вещества в жидкое состояние и транспортировки этилена. Предпочтительнее всего использование этилена в тех случаях, когда предприятия связаны между собой специальными трубопроводами. В связи с вышеперечисленными причинами производство этена идет только на внутривзаводское потребление.

На сегодняшний день в России проведено около 1000 км трубопроводов, предназначенных для перегонки этилена. Данные трубопроводы находятся в Татарстане и Башкортостане. На всем протяжении трубопроводов находятся бункерные хранилища.

Этилен является взрывоопасным веществом. Предельно допустимая концентрация в атмосферном воздухе равняется 3 мл/м³, в воздухе рабочей зоны равняется 100 мг/м³.

1.3 Химические свойства

При переработке этилена в промышленных масштабах органического синтеза наиболее распространены такие химические процессы, как полимеризация, окисление, хлорирование, гидратация, нитрование и алкилирование.

При гидратации этилена получается этанол. При окислении этилена кислородом или воздухом в присутствии оксида серебра при температуре от 200 до 300 °С образуется окись этилена. При использовании жидкофазного окисления этилена кислородом в водных растворах PdCl₂ и CuCl₂ при температуре, равной 130 °С, и давлении, равном 0,3 МПа, происходит образование ацетальдегида. В таких же условиях, только в присутствии уксусной кислоты, образуется винилацетат.

Этилен известен как алкилирующий агент, применяемый при алкилировании бензола. Данный процесс проводят в газовом

состоянии при температуре, равной 400–450 °С, и давлении 1,4 МПа при участии хлорида алюминия в неподвижном слое катализатора. Катализатор полностью пропитан фосфорной кислотой. В качестве катализатора можно использовать цеолиты.

При полимеризации примеси, содержащиеся в этилене, делятся на активные и инертные. В присутствии активных примесей происходит присоединение макромолекул полиэтилена (ацетилен), сополимеризация с этиленом (пропилен), запуск полимеризации (кислород) и обрывание растущих цепей полиэтилена (водород, сероводород).

При присутствии инертных примесей (например, пропан) происходит только разбавление этилена.

Рециркулирующий (возвратный) этилен может содержать также эфиры и альдегиды, которые при окислении чаще всего ведут себя как активные примеси.

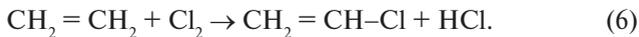
1.3.1 Галогенирование

Галогенирование – электрофильное присоединение. При галогенировании этилен вступает в реакцию с галогенами. В качестве галогенов может выступать хлор, бром, фтор, йод. Результатом реакции с бромом служит обесцвечивание бромной воды. Галогенирование описывается реакцией (5):



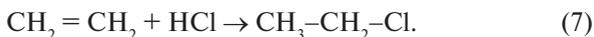
Процесс галогенирования этена возможен и при нагревании (300 °С).

В результате данной реакции разрыв двойной связи не происходит, и реакция протекает по механизму радикального замещения. Данный процесс описывается реакцией (6):



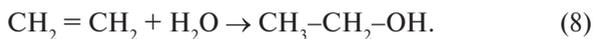
1.3.2 Гидрогалогенирование

Происходит взаимодействие этилена с галогенводородами (HCl, HBr), в результате чего образуются галогенпроизводные алканы. Данный метод описывается реакцией (7):



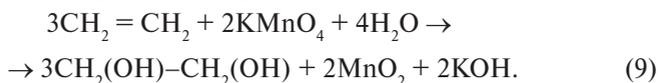
1.3.3 Гидратация

При гидратации этилен взаимодействует с водой в присутствии неорганических кислот, в результате чего образуется предельный одноатомный этанол. Данная реакция описывается формулой (8):



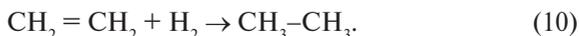
1.3.4 Окисление

Этен является легкоокисляемым соединением. Если этен пропустить через перманганат калия, то раствор обесцветится. Данную реакцию используют для определения предельных и непредельных соединений. В результате окисления образуется этиленгликоль. Данная реакция отображена в формуле (9):



1.3.5 Гидрирование

Восстановление этилена водородом происходит с образованием представителей ряда алканов. Реакция гидрирования протекает по радикальному механизму в присутствии катализаторов, например, никеля, платины, палладия. Одним из главных условий протекания реакции является процесс нагревания реакционной смеси. Реакция отражена формулой (10):



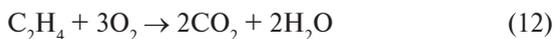
1.3.6 Полимеризация

Процесс полимеризации обозначает образование высокомолекулярного соединения. Данный процесс происходит в присутствии кислот или радикалов и описывается уравнением (11):



1.3.7 Горение

Реакция горения прописывается формулой (12):



1.3.8 Димеризация

В процессе димеризации происходит образование совершенно нового соединения путем взаимодействия двух молекул, переходящих в комплекс, который уравнивает слабые и ковалентные связи. Димеризация описывается реакцией (13):



1.4 Применение

Этилен является очень важным сырьем для производства различных синтетических продуктов. К ним можно отнести этиловый спирт, окись этилена, этиленгликоль. Иногда при автогенной сварке используют этилен.

Использование этена подтверждают его химические свойства. Так как этилен по своим химическим свойствам схож с типичными представителями олефинов, он имеет высокую реакционную способность. Особенно его свойства проявляются в реакциях электрофильного присоединения. Этилен занимает важное место в нефтехимической промышленности. Его используют как мономер для получения всем известного полиэтилена, который является самым крупнотоннажным полимером в мире. На практике в производстве полиэтилена используют этилен с чистотой не менее 99,9 %.

Используется также в производстве стирола, полипропилена и других сополимеров. В производстве синтетических смазочных масел используются олигомеры этилена.

В медицине смесь этилена и кислорода применяют для наркоза.

Также этен используется в качестве регулятора роста растений для ускорения созревания плодов.

Кроме этого, этилен используется при изготовлении моющих средств и синтетических смазочных материалов.

Этилен также используют в обувной промышленности, особенно в производстве спортивной обуви.

Что касается автомобильной промышленности, то и здесь этилен находит применение в виде добавки при производстве автомобильных покрышек и специального стекла.

2 Расчет материального и энергетического балансов процесса получения этилена

2.1 Материальный баланс

Исходные данные

При процессе синтеза Фишера – Тропша подают угарный газ, содержащий 5 % примеси углекислого газа. Угарный газ подают с избытком $\alpha = 1,1$. Водород содержит 8 % азота и 7 % аммиака. Конверсия водорода 67 %. Реакцию проводят при 100 °С (рисунок 1.5). Значения молекулярных масс представлены в таблице 1.3.

Реакция данного процесса описывается формулой (14):



Таблица 1.3 – Значения молекулярных масс основных веществ, участвующих в реакции

Вещество	Молярная масса, г/моль
Угарный газ (CO)	28
Углекислый газ (CO ₂)	48
Водород (H ₂)	2
Азот (N ₂)	28
Аммиак (NH ₃)	17
Этилен (C ₂ H ₄)	26
Вода (H ₂ O)	18

Производительность $G = 1,5$ т/сутки.

Время работы оборудования в сутках $t = 24$ часа.

Расчёт материального баланса

1. Найдем среднечасовую производительность производства по водороду по формуле (15):

$$G_{\text{ср,ч}} = G \cdot 1000 / t, \quad (15)$$

где G – производительность, т/сутки;

1000 – перевод из тонн в килограммы;

t – время работы оборудования в сутках, ч.

$$G_{\text{ср,ч}} = 1,5 \cdot 1000 / 24 = 62,5 \text{ кг/ч.}$$

2. Рассчитаем массу и объем водорода, подаваемого в реактор по формулам (16) и (17):

$$m_{\text{H}_2} = G_{\text{ср.ч}} \cdot \chi, \quad (16)$$

где χ – конверсия водорода, %.

$$m_{\text{H}_2} = 62,5 \cdot 0,67 = 41,9 \text{ кг};$$

$$V_{\text{H}_2} = (m_{\text{H}_2} \cdot V_m \cdot n_{\text{H}_2}) / a_{\text{H}_2}, \quad (17)$$

где V_m – молярный объем, м³/кмоль;

n_{H_2} – стехиометрический коэффициент молекул водорода;

a_2 – количество атомов водорода.

$$V_{\text{H}_2} = (41,9 \cdot 22,4 \cdot 4) / 8 = 469,2 \text{ м}^3.$$

3. Рассчитаем массу и объем не прореагировавшего водорода по формуле (18) и (19):

$$m_{\text{H}_2\text{не прореаг}} = G_{\text{ср.ч}} - m_{\text{H}_2}; \quad (18)$$

$$V_{\text{H}_2\text{не прореаг}} = (m_{\text{H}_2\text{не прореаг}} \cdot V_m \cdot n_{\text{H}_2}) / a; \quad (19)$$

$$m_{\text{H}_2\text{не прореаг}} = 62,5 - 41,9 = 20,6 \text{ кг}$$

$$V_{\text{H}_2\text{не прореаг}} = (20,6 \cdot 22,4 \cdot 4) / 8 = 230,72 \text{ м}^3.$$

4. Рассчитаем массу и объем азота, содержащегося в водороде по формуле (20):

$$V_{\text{N}_2} = (V_{\text{H}_2} \cdot 8) / 85 = 44,2 \text{ м}^3; \quad (20)$$

$$V_{\text{N}_2} = (469,2 \cdot 8) / 85 = 44,2 \text{ м}^3;$$

$$m_{\text{N}_2} = (44,2 \cdot 28) / 22,4 = 55,2 \text{ кг}.$$

5. Рассчитаем массу и объем аммиака, содержащегося в водороде:

$$V_{\text{NH}_3} = (469,2 \cdot 7) / 85 = 38,6 \text{ м}^3;$$

$$m_{\text{NH}_3} = (38,6 \cdot 17) / 22,4 = 29,3 \text{ кг}.$$

6. Рассчитаем, сколько необходимо угарного газа:

$$m_{\text{CO}} = (41,9 \cdot 2 \cdot 28) / 8 = 293,3 \text{ кг}.$$

7. Рассчитаем объем угарного газа:

$$V_{\text{CO}} = (293,3 \cdot 2 \cdot 22,4) / 56 = 234,6 \text{ м}^3.$$

8. Рассчитаем количество угарного газа с учетом его избытка:

$$V'_{\text{CO}} = 234,6 \cdot 1,1 = 258 \text{ м}^3.$$

9. Рассчитаем углекислый газ, содержащийся в угарном газе:

$$V_{\text{O}_2} = (258 \cdot 5) / 95 = 13,6 \text{ м}^3;$$

$$m_{\text{N}_2} = (13,6 \cdot 48) / 22,4 = 29,1 \text{ кг.}$$

10. Рассчитаем, сколько не прореагировало угарного газа:

$$V_{\text{CO не прореаг}} = 258 - 234,6 = 23,4 \text{ м}^3;$$

$$m_{\text{CO не прореаг}} = (23,4 \cdot 28) / 22,4 = 29,3 \text{ кг.}$$

11. Рассчитаем, сколько образовалось этилена:

$$m_{\text{C}_2\text{H}_4} = (41,9 \cdot 26) / 8 = 136,2 \text{ кг};$$

$$V_{\text{C}_2\text{H}_4} = (136,2 \cdot 22,4) / 26 = 117,3 \text{ м}^3.$$

12. Рассчитаем массу и объем воды:

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = (41,9 \cdot 18 \cdot 2) / 8 = 188,6 \text{ кг};$$

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = (188,6 \cdot 22,4) / 18 = 234,7 \text{ м}^3.$$

Полученные значения заносим в таблицу 1.4.

Таблица 1.4 – Расход – Приход

Вещество	Приход		Расход	
	кг/ч	м ³	кг/ч	м ³
Угарный газ	293,3	234,6	29,3	23,4
Углекислый газ	29,1	13,6	29,1	13,6
Водород	41,9	234,6	20,6	230,7
Азот	55,2	44,2	55,2	44,2
Аммиак	29,3	38,6	29,3	38,6
Этилен	–	–	136,2	117,3
Вода	–	–	188,6	234,7
Итого	477,9	800,2	488,2	707,0

Потери находятся в допустимых пределах и не превышают 15 %.

Схема процесса Фишера – Тропша изображена на рисунке 1.5.

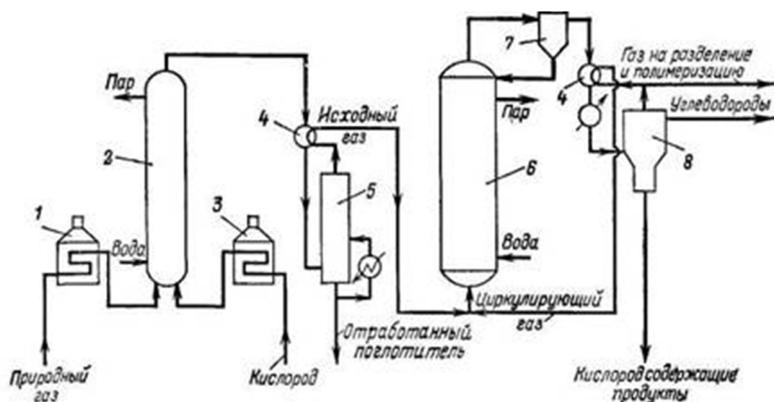


Рисунок 1.5 – Принципиальная схема процесса Фишера – Тропша (авторская схема)

2.2 Энергетический баланс

Исходные данные берутся из справочников [Вредные вещества в промышленности: Справочник для химиков, инженеров и врачей. – 7-е изд., Т. 3. – Л. : Химия, 1976. – С. 124–126. Рабинович В.А., Хавин З.Я. Краткий химический справочник. – Л. : Химия, 1977. – С. 141. Справочник химика. – 2 изд., Т. 1. – Л.-М. : Химия, 1966. – С. 607. Варгафтик Н. Б., Филиппов Л. П. и др. Справочник по теплопроводности жидкостей и газов – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 352 с.]

Термодинамические параметры показаны в таблице 1.5. Количественный и качественный состав материальных потоков, поступающих и выходящих из реактора, указаны в таблицах 1.6 и 1.7.

Таблица 1.5 – Термодинамические параметры

Вещество	ΔH_f , 298 кДж/моль	S^0 , 298 Дж/(моль · град)	C_p , 298 Дж/(моль · С)
Угарный газ	–110,6	197,54	29,11
Водород	–285,8	130,2	28,83
Этилен	–1410,9	219,45	43,9
Вода	–241,84	188,74	33,56

Таблица 1.6 – Количественный и качественный состав материальных потоков, поступающих в реактор

Вещество	Поток, кг/ч	Температура, °С	Удельная теплоемкость кДж/(кг · С)
Угарный газ	322,5	100	1,04
Водород	41,9	100	14,35

Так как вода составляет наибольшую часть побочных продуктов реакции, а также нам дана её энтальпия, то при расчёте теплоты учитываем только её.

$$\Delta H_{\text{обр воды}} = -241,84 \text{ кДж/моль};$$

$$\Delta H_{\text{обр этилена}} = -1410,9 \text{ кДж/моль}.$$

Таблица 1.7 – Количественный состав материальных потоков, выходящих из реактора

Вещество	Поток, кг/ч	Температура, °С
Вода	188,6	190
Этилен	136,2	190

$$C_{\text{уд вода}} = 4,459 \text{ кДж/(кг · °С)}$$

$$C_{\text{уд этилен}} = 2,067 \text{ кДж/(кг · °С)}$$

$$W_{\text{вода}} = 38,63 \%; W_{\text{этилен}} = 27,86 \%$$

Расчёт теплового баланса

1. Уравнение теплового баланса:

$$Q_1 + Q_2 = Q_3 + Q_4 + Q_5, \quad (21)$$

где Q_1 – теплота реагентов;

Q_2 – отводимое тепло хладагентом;

Q_3 – тепловой эффект реакции;

Q_4 – теплота продуктов реакции;

Q_5 – потери в окружающую среду.

2. Расчёт теплоты реагентов

$$Q_1 = C \cdot M \cdot T, \quad (22)$$

где C – теплоемкость продуктов;

T – температура продуктов при поступлении в процесс;

M – количество продуктов в кг, M^3 , молях.

3. Теплота, приходящая с угарным газом:

$$Q_{1CO} = 1,04 \cdot 322,5 \cdot (190 + 273) = 155290,2 \text{ кДж/ч.}$$

4. Теплота, приходящая с водородом:

$$Q_{1H_2} = 14,35 \cdot 41,9 \cdot (190 + 273) = 278385,7 \text{ кДж/ч;}$$

$$Q_1 = Q_{1CO} + Q_{1H_2}; \quad (23)$$

$$Q_1 = 155290,2 + 278385,7 = 433675,9 \text{ кДж/ч.}$$

5. Выделение тепла в реакторе в процессе синтеза:

$$Q_3 = m_{C_2H_4} \cdot q_{C_2H_4} + m_{H_2O} \cdot q_{H_2O}; \quad (24)$$

$$Q_3 = 188,6 \cdot 241,84 + 136,2 \cdot 1410,9 = 237775,6 \text{ кДж/ч}$$

6. Удельная теплоёмкость выходной смеси:

$$C_{\text{уд. вых. см}} = 4,459 \cdot 0,3863 + 2,067 \cdot 0,2786 = 2,29 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{°C).}$$

7. Количество теплоты, уходящей из реактора с выходной смесью:

$$Q_4 = 2,29 \cdot 488,1 \cdot (190 + 273) = 517517,79 \text{ кДж/ч.}$$

8. Количество теплоты, поступившей в реактор:

$$Q_{\text{вх}} = 155290,2 + 278375,7 + 237775,6 = 671441,5 \text{ кДж/ч.}$$

9. Количество тепла, снимаемое подаваемым в реактор конденсатом:

$$Q_2 = 671441,5 - 577517,79 = 93923,72 \text{ кДж/ч.}$$

Результаты теплового баланса сведены в таблице 1.8.

Таблица 1.8 – Тепловой баланс реактора

Приход			Расход		
Вещество	%	Q , кДж	Вещество	%	Q , кДж
Угарный газ	23,13	155290,2	Смесь воды и этилена	84,64	517517,79
Водород	41,46	278385,7	Отвод тепла	15,36	93923,72

Продолжение таблицы 1.8

Приход			Расход		
Вещество	%	Q, кДж	Вещество	%	Q, кДж
Теплота реакции	35,41	237775,6	Теплота реакции	—	—
Итого	100	671441,5	Итого	100	611441,51

Потери теплоты находятся в допустимых пределах и не превышают 10 %.

3 Анализ преимуществ предлагаемой технологии

Единой схемы процесса получения этилена не существует.

При выборе метода и схемы получения этилена имеют значение различные факторы:

- 1) сложный состав смеси;
- 2) интенсивность процесса разделения концентрата;
- 3) степень извлечения этилена;
- 4) расход энергии;
- 5) подготовка газа к разделению;
- 6) вспомогательные материалы и побочные продукты;
- 7) удобство эксплуатации;
- 8) экономика процессов извлечения и фракционирования.

Основным критерием при выборе метода и схемы получения этилена должны быть результаты технико-экономических расчетов. При использовании различных катализаторов значительно повышаются селективность и выход некоторых основных продуктов. При этом можно значительно снизить температуру пиролиза. Основными недостатками каталитического пиролиза, несомненно, являются высокое коксование катализаторов и необходимость создания новых установок и нового технологического оборудования. И раз до сих пор не появились полноценные промышленные установки каталитического пиролиза, значит, достаточно сложно создать надежные и простые в эксплуатации, хотя японцы интенсивно ведут исследования в этой области и в печати стабильно

появляются заметки об испытаниях в Японии новой установки каталитического пиролиза.

По второму направлению было испробовано огромное количество соединений с их дозировкой от десятков ppm до десятков процентов к сырью. Эти вещества инициируют реакции разложения сырья и/или ингибируют побочные, вторичные процессы. В промышленности широкое распространение получило использование небольших дозировок (50–300 ppm) веществ, способствующих снижению образования кокса при пиролизе. Из этих веществ выделяются серосодержащие соединения (такие как диметилдисульфид, третбутилполисульфид). Фирмой Nalco активно продвигается ингибитор коксообразования на основе фосфорсодержащих веществ. Принцип действия этих веществ заключается в пассивации активных центров на стенке пирозмеевика. Однако и у этого направления достаточно большое количество недостатков, таких как сложность равномерного дозирования, равномерного распределения по паросырьевому потоку, ограничение использования ингибиторов коксообразования при пиролизе сырья с содержанием серы (прямогонный бензин, атмосферный газойль).

Из последних разработок следует отметить использование различных физических полей (акустических, электромагнитных) на процесс пиролиза.

Эффект от действия этих полей примерно такой же, как и при использовании катализаторов.

Кроме того, не утихает интерес к плазмохимическим технологиям с использованием низкотемпературной плазмы, позволяющим проводить реакции при температурах 1000–10 000 К. Основным преимуществом плазмохимических реакций является возможность использования малоценного или трудно перерабатываемого сырья. Например, при таких температурах можно без проблем разложить метан. На фоне быстрого роста цен на нефть данный процесс весьма перспективен.

Заключение

В данной курсовой работе рассмотрен метод получения этилена методом синтеза Фишера – Тропша; описаны физико-химические характеристики вещества; рассмотрены все существующие методы и схемы получения этилена; представлена характеристика этилена как сырья; рассчитан материальный и энергетический баланс.

В настоящее время рост интереса к синтезу Фишера – Тропша основывается на том, что с каждым годом растет цена на нефть. Преимущество синтеза Фишера – Тропша в том, что с помощью данной технологии мы получаем экологически чистое топливо. В топливе, полученном синтезом Фишера – Тропша, отсутствуют нафтены, ароматические углеводороды, сера и соединения азота.

Синтез Фишера – Тропша позволяет получать из природных горючих ископаемых, используемых в настоящее время преимущественно как топливо для тепло- и электростанций (уголь, природный газ) или вовсе сжигаемых на факелах либо выбрасываемых в атмосферу (попутный нефтяной газ), высококачественные моторные топлива и ценное сырье для последующего химического синтеза.

К экологической проблеме можно отнести потребность в большом количестве воды для осуществления газификации угля, если последний используется в качестве исходного сырья. Зачастую климат в странах, богатых углем, но бедных нефтью, является засушливым. Однако на второй стадии GTL-производства – собственно синтез ФТ – вода является побочным продуктом, который после очистки можно использовать в технологическом процессе.

Список используемой литературы

1. Горбов, А. И. Этилен // Энциклопедический словарь / издатель: Ф. А. Брокгауз, И. А. Ефрон ; [под ред. И. Е. Андреевского [и др.]]. – Санкт-Петербург, 1904. – Т. 41 (81). – С. 166–170.
2. ГОСТ 24975.0–89. Этилен и пропилен. Методы отбора проб : государственный стандарт Союза ССР : издание официальное : утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по управлению качеством продукции и стандартам от 18 декабря 1989 года № 3759 : взамен ГОСТ 24975.0–81 : дата введения 1991-01-01 / разработан и внесен Министер-

- ством химической и нефтеперерабатывающей промышленности СССР. — Москва : Изд-во стандартов, 1990. — 7 с.
3. ГОСТ 25070—87. Этилен. Технические условия : государственный стандарт Союза ССР : издание официальное : утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 17 декабря 1987 года № 4628 : взамен ГОСТ 25070—81 : дата введения 1989-01-01 / разработан и внесен Министерством нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности СССР. — Москва : Изд-во стандартов, 1988. — 6 с.
 4. Крылов, О. В. Гетрогенный катализ : учеб. пособие / О. В. Крылов. — Москва : Академкнига, 2004. — 679 с. — ISBN 5-94628-141-0.
 5. Мановян, А. Г. Технология переработки природных энергоносителей : учеб. пособие / А. Г. Мановян. — Москва : Химия [и др.], 2004. — 454, [1] с. — ISBN 5-98109-004-9.
 6. Паал, З. Каталитические реакции циклизации углеводов / З. Паал, Ж. Чичери. — Москва : Мир, 1988. — 264 с. — ISBN 5-03-00-1116-1.
 7. Сторч, Г. Синтез углеводов из оксида углерода и водорода / Г. Сторч, Н. Голамбик, Р. Андерсон ; под ред. А. Н. Башкрова. — Москва : Изд-во иностранной литературы, 1954. — 516 с.
 8. Химическая энциклопедия. В 5 томах. Том 4. Пол — Три / редкол.: Ю. А. Золотов [и др.], гл. ред. Н. С. Зефиоров. — Москва : Большая советская энциклопедия, 1995. — 639 с. — ISBN 5-85270-092-4.
 9. Химические вещества из угля / [Ф. Шнур, Г. Коллинг, Е. Аланд [и др.] ; под общ. ред. Ю. Фальбе. — Москва : Химия, 1980. — 614 с.

ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОЙ РАБОТЫ 2

1 Производство синтетического бутадиен-стирольного каучука

1.1 Общая характеристика производства СБСК

Производство введено в эксплуатацию в 1961 году. Проектная мощность – 55 тыс. т/год [5].

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

Синтетический каучук получают сополимеризацией бутадиена и альфа-метилстирола в водной эмульсии. В качестве основного эмульгатора применяется комплексный эмульгатор. В качестве дополнительных эмульгаторов применяется диспергатор НФ. Для процесса полимеризации бутадиена и альфа-метилстирола применяются вещества, инициирующие процесс полимеризации. В качестве инициатора используются: гидроперекись на основе гидрированных терпеновых углеводов (гидроперекись пинана). Для ускорения процесса распада гидроперекиси в системе полимеризации применяются вещества-активаторы. Активатором в процессе полимеризации при получении каучука является железо-трилоновый комплекс. Регулирование молекулярного веса полимера производится с помощью третичного додецилмеркаптана. Окончательный обрыв процесса полимеризации, после достижения необходимой конверсии мономеров, производится вводом в систему раствора прерывателя – ДЭГА (диэтилгидроксиамин).

В производственный процесс получения каучуков бутадиен- α -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 (гидроперекиси пинана), регулятора (третичного додецилмеркаптана), пеногасителя;

- приготовление углеводородной шихты;
- приготовление эмульсий углеводов;
- сополимеризация мономеров;
- 2) установка отгонки и компримирования (отделение Е-1, Е-9):
- дегазация незаполимеризовавшихся мономеров из латекса;
- дистилляция альфа-метилстирола-возврата (периодическая стадия);
- 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-30АР-КМ-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 Сушка каучука

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 термопластичности 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.

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.

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

Ранее использовались еще четыре многоходовых сушилки для сушки каучука в виде ленты, но в связи с малой производительностью и устаревшим оборудованием с 2015 года не используются.

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 (5 зон) 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» [6].

«В процессе сушки каучука образуется отход в виде отработанного воздуха, содержащего в небольших количествах мономеры (бутадиен, стирол, альфа-метилстирол), продукты разложения каучука, смоляные и жирные кислоты от сушильных агрегатов» [7].

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

2 Усовершенствование технологии утилизации отходящих газов от сушильных агрегатов

2.1 Методы очистки отработанного воздуха от сушильных агрегатов

В процессе производства бутадиен-стирольных каучуков при их выделении и сушке образуются воздушные выбросы, которые содержат токсичные органические соединения, смолистые и взвешенные вещества (тальк), поэтому выброс загрязненного воздуха без очистки невозможен.

Известен ряд способов обезвреживания воздушных выбросов: термokatалитический, озонирование, биологическое окисление специальными штаммами бактерий [12].

При термokatалитическом способе для окисления органических соединений, содержащихся в воздухе, применяют катализаторы на основе оксидов различных элементов [12].

Воздух, пройдя слой катализатора, практически полностью очищается от органических соединений, при этом образуются нетоксичные соединения – углекислый газ и вода.

Перед подачей в реактор с катализатором загрязненный воздух подвергается предварительной очистке от пыли, талька, масла, эмульгаторов и т. п. в аппаратах типа ротоклон. Очистка ведется путем отмывки воздуха сильно распыленными струями воды. При выходе из ротоклона установлены отражатели, предотвращающие унос воды.

«Воздух после предварительной очистки подается в теплообменник, где подогревается отходящим горячим очищенным воздухом. Подогретый воздух, смешиваясь в потоке с дымовыми газами ($800 \div 1200$ °С), нагревается до температуры $400 \div 500$ °С в зависимости от типа используемого катализатора» [12].

Кроме каталитической очистки воздуха от органических соединений существуют менее энергоемкие способы очистки. Одним из таких способов очистки является озонирование. Воздух, содержащий органические соединения, смешивается с озоно-воздушной смесью и без дополнительного подогрева очищается полностью от органических соединений с образованием воды и углекислого газа.

Трудности в использовании данного способа заключаются в том, что содержание органических примесей в отходящих газах непостоянно и для поддержания определенного соотношения озон:органические загрязнения необходимо сложное приборное оборудование. При несоблюдении данных соотношений в реальных условиях возможно либо неполное окисление органических соединений и вторичное загрязнение воздушных выбросов продуктами неполного окисления, либо наличие избытка озона и выброс его в атмосферу с очищенным воздухом, что недопустимо, так как предельно допустимая концентрация озона в воздухе рабочей зоны составляет $0,1$ мг/м³.

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.

В промышленности синтетического каучука из-за больших объемов воздушных выбросов ($150\ 000$ – $300\ 000$ м³/ч) и относительно низкой концентрации вредных веществ (до $1,0$ г/м³) наиболее широкое применение нашел термокаталитический способ очистки с использованием оксидных катализаторов как наиболее экономичный и эффективный.

В ООО «Тольяттикаучук» отходящие газы после предварительной очистки в влагосмолоотстойнике сжигаются в печах цеха Д-6.

2.2 Существующая схема утилизации отходящих газов

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

Для отделения воды и смолы из воздуха, поступающего из сушилок, используется влагосмолоотстойник № 23 (таблица 2.1).

Таблица 2.1 – Технические характеристики влагосмолоотстойника № 23

Объем	97,6 м ³
Общая высота	20000 мм
Высота отстойника	3600 мм
Диаметр трубы	1600 мм
Расчетное давление	атмосферное
Расчетная температура	160 °С
Производительность по отработанному воздуху	170 000 м ³ /ч
Объем	97,6 м ³

Очищенный воздух из влагосмолоотстойника № 23 подается вентилятором № 24 в печи сгорания установки Д-6 (таблица 2.2).

Таблица 2.2 – Технические характеристики вентилятора № 24

Тип	Д-20 правого вращения
Производительность	140 000 м ³ /ч
Напор	250 мм вод. ст.
Число оборотов вентилятора	585 в минуту
Максимально допустимая температура газов	до 250 °С
Электродвигатель марки	А-12-52-10
Мощность электродвигателя	250 кВт/ч
Число оборотов электродвигателя	600 в минуту
Исполнение	нормальное

Тип газоочистной установки: очистка отходящих газов от аэрозолей (пылей и туманов) в мокрых уловителях инерционного типа.

Способ действия мокрого пылеуловителя: полый форсуночный скруббер (рисунок 2.1).

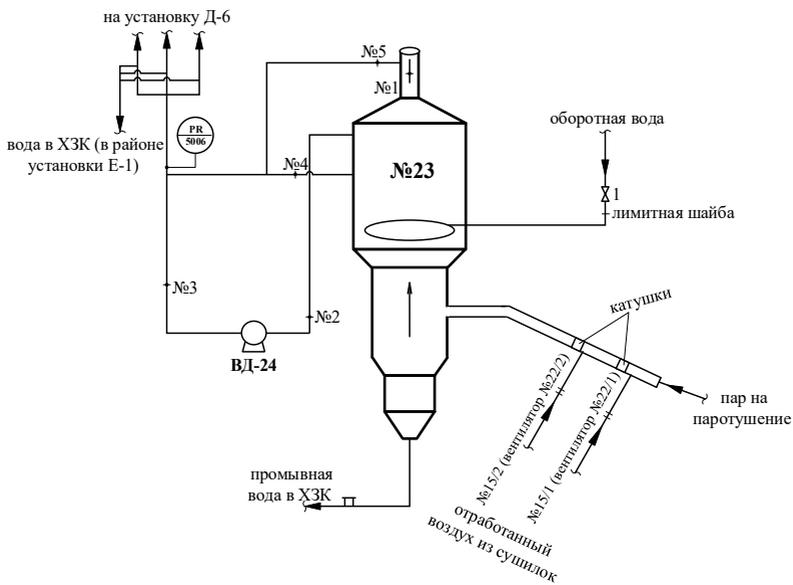


Рисунок 2.1 – Схема подачи отработанного воздуха из сушильных агрегатов на печи сжигания установки Д-6 (авторская схема)

2.3 Описание технологической схемы

Отработанный воздух, содержащий в небольших количествах мономеры (бутадиен, стирол, альфа-метилстирол), 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 [5].

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

Схемой предусмотрена возможность подачи в магистральные коллекторы установки Д-6 воздуха из атмосферы открытием ши-

бера № 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].

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.

Показатели газоочистной установки, подлежащие контролю:
температура газов:

- на входе 80 °С;
- на выходе 30 °С.

Концентрация загрязняющих веществ указана в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Концентрация загрязняющих веществ

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

Объем газовойоздушной смеси указан в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Объем газовойоздушной смеси

Загрязняющее вещество		Объем газовойоздушной смеси, м ³ /с	
код	наименование	до очистки*	после очистки
0618	α-метилстирол	–	4,5
2902	взвешенные вещества		

*Определение показателя невозможно по причине загрязненности потока.

Эффективность очистки газов указана в таблице 2.5.

Таблица 2.5 – Эффективность очистки 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 СБСК образуются сточные воды в количестве 20 м³/ч.

Характеристика сточных вод:

- температура 30 °С;
- рН – 6,5–8,5;
- взвешенные вещества – 150 мг/м³;
- ХПК – 100 мг О₂/дм³;
- нефтепродукты – 5 мг/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, которые способствуют выходу из строя оборудования и самовозгоранию.

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

3 Предлагаемая схема утилизации отходящих газов

Для усовершенствования процесса предварительной очистки отходящих газов предлагается рассмотреть более эффективное оборудование.

«Ротационный скруббер является сепаратором высокого КПД и служит для разделения мелких частиц пыли; поглощения вредных газов (физически/химически); охлаждения газа и удаления запаха» [11; 10].

Характеристики:

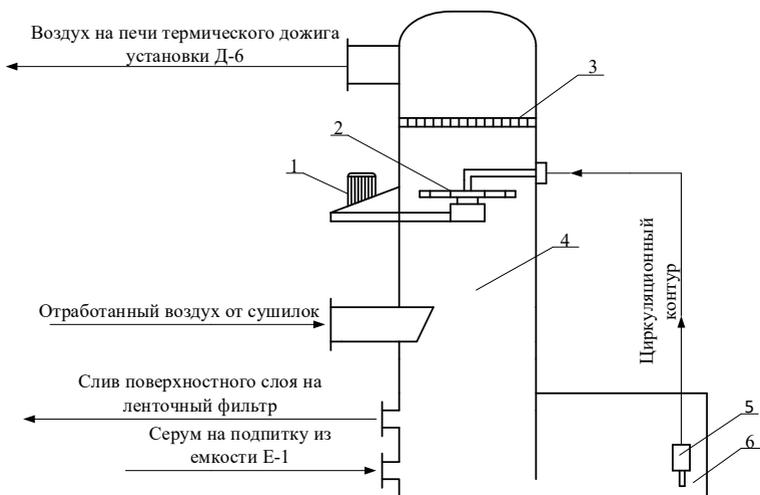
- низкий перепад давления при высокой эффективности разделения;
- разделение газа и поглощение пыли в один этап;
- отсутствие засорения;
- возможно использование рециркулирующего моющего средства с высоким содержанием твердых веществ;
- низкое потребление свежей воды;
- компактный дизайн;
- высокая эффективность.

Вода обладает слабым смачивающим эффектом, вследствие чего предлагается использовать в качестве скрубберной жидкости возвратный серум, образующийся после выделения каучука из латекса.

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 количество, около 10 % от взятого, остается в серуме.

Интегрированная циркуляционная ёмкость ротационного скруббера 6 заполняется серумом из ёмкости Е-1 (рисунок 2.2), далее насосом 5 серум подается через циркуляционный контур на специальное распылительное колесо 2.

«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» [9].



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

Рисунок 2.2 – Схема предварительной очистки отработанного воздуха от сушильных агрегатов (авторская схема)

Затем газовый поток поднимается к областям контакта с мелкодисперсной фазой, создаваемой специальным распылительным устройством 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.

Предварительно очищенный воздух направляется по коллектору на установку Д-6, производство бутадиена и ДВМ, на термическую очистку в топке парогенераторного котла.

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.

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.

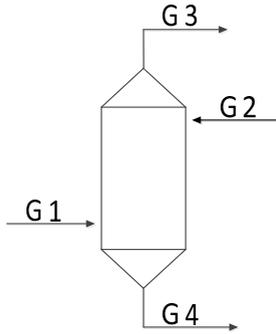
4 Расчет материального баланса

4.1 Материальный баланс имеющейся схемы газоочистки

Исходные данные для расчета материального баланса представлены в таблице 2.6, схема материальных потоков в скруббере изображена на рисунке 2.3.

Таблица 2.6 – Характеристика отработанного воздуха

Загрязняющее вещество	Концентрация или выброс загрязняющего вещества, мг/м ³
Аммиак	2
Диоксид азота	0,2
Оксид углерода	3
Углеводороды C ₂ – C ₅	0,98
Альфа-метилстирол	50
Толуол	0,2
Пыль (тальк, смола)	100,6
Ацетонитрил	0,3



G1 – воздух на очистку; G2 – вода на орошение;
G3 – воздух после очистки; G4 – шлам очистки в химзагрязненную канализацию (ХЗК) через гидрозатвор

Рисунок 2.3 – Схема материальных потоков
(материального баланса: $G1 + G2 = G3 + G4$)
(авторская схема)

Количество очищаемого газа – $170\,000\text{ м}^3/\text{ч}$.

Температура газов на входе в скруббер – $80\text{ }^\circ\text{C}$.

Начальная концентрация пыли – $0,102\text{ г}/\text{м}^3$.

Плотность воздуха при $0\text{ }^\circ\text{C}$ – $1,293\text{ кг}/\text{м}^3$.

Плотность воздуха при $80\text{ }^\circ\text{C}$ – $\frac{273}{273+80} \cdot 1,293 = 0,99\text{ кг}/\text{м}^3$.

Рассчитаем массу газа на входе в скруббер:

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

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

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

$$M_{\text{г}} = 170000 \cdot 0,99 = 168300\text{ кг}/\text{ч}.$$

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, $\text{кг}/\text{м}^3$.

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

Определим массовый расход пыли:

$$G_{\text{п}} = M_{\text{г}} \cdot G, \quad (3)$$

где G – концентрация пыли, $\text{кг}/\text{м}^3$.

$$G_{\text{п}} = 168300 \cdot 0,00010 = 16,83 \text{ кг/ч.}$$

Находим массу α -метилстирола по формуле (3):

$$M_{\text{C}_9\text{H}_{10}} = 168300 \cdot 5 \cdot 10^{-5} = 8,415 \text{ кг/ч,}$$

где С – концентрация α -метилстирола.

Находим массу оксида углерода по формуле (3):

$$M_{\text{CO}} = 168300 \cdot 3 \cdot 10^{-6} = 0,44 \text{ кг/ч.}$$

Находим массу аммиака по формуле (3):

$$M_{\text{NH}_3} = 168300 \cdot 2 \cdot 10^{-6} = 0,34 \text{ кг/ч.}$$

Находим массу ацетонитрила по формуле (3):

$$M_{\text{C}_2\text{H}_3\text{N}} = 168300 \cdot 3 \cdot 10^{-7} = 0,05 \text{ кг/ч.}$$

Находим массу диоксида азота по формуле (3):

$$M_{\text{NO}_2} = 168300 \cdot 2 \cdot 10^{-7} = 0,03 \text{ кг/ч.}$$

Находим массу углеводородов С2–С5 по формуле (3):

$$M_{\text{C}_2\text{--C}_5} = 168300 \cdot 9,8 \cdot 10^{-7} = 0,165 \text{ кг/ч.}$$

Находим массу толуола по формуле (3):

$$M_{\text{C}_7\text{H}_8} = 168300 \cdot 2 \cdot 10^{-7} = 0,03 \text{ кг/ч.}$$

Механический унос воды составляет 3 %.

$$20000 \cdot 0,03 = 600 \text{ кг/ч.}$$

Масса влажного воздуха равна:

$$168273,7 + 600 = 168873,7 \text{ кг/ч.}$$

Масса веществ в шламе газоочистки:

$$M_{\text{в}} = G_{\text{х}} \cdot 0,6, \tag{4}$$

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

0,6 – степень очистки, %.

Масса пыли в шламе равна:

$$M_{\text{п}} = 16,83 \cdot 0,6 = 10,098 \text{ кг/ч.}$$

Масса альфа-метилстирола в шламе равна:

$$M_{\text{C}_9\text{H}_{10}} = 8,415 \cdot 0,6 = 5,049 \text{ кг/ч.}$$

Масса оксида углерода в шламе равна:

$$M_{\text{CO}} = 0,44 \cdot 0,6 = 0,263 \text{ кг/ч.}$$

Продолжение таблицы 2.7

Масса аммиака в шламе равна:

$$M_{\text{NH}_3} = 0,34 \cdot 0,6 = 0,136 \text{ кг/ч.}$$

Масса ацетонитрила в шламе равна:

$$M_{\text{C}_2\text{H}_3\text{N}} = 0,05 \cdot 0,6 = 0,03 \text{ кг/ч.}$$

Масса диоксида азота в шламе равна:

$$M_{\text{NO}_2} = 0,03 \cdot 0,6 = 0,018 \text{ кг/ч.}$$

Масса углеводородов C2–C5 в шламе равна:

$$M_{\text{C}_2-\text{C}_5} = 0,165 \cdot 0,6 = 0,099 \text{ кг/ч.}$$

Масса толуола в шламе равна:

$$M_{\text{C}_7\text{H}_8} = 0,03 \cdot 0,6 = 0,018 \text{ кг/ч.}$$

Результаты расчета материального баланса сведены в таблице 2.7.

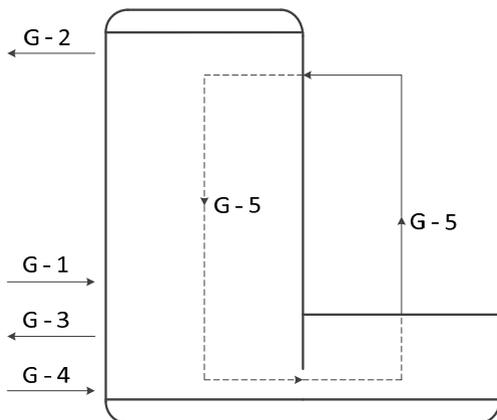
Таблица 2.7 – Материальный баланс имеющейся схемы газоочистки

Приход				Расход			
№	Поток	Кг/ч	%	№	Поток	Кг/ч	%
1	Газы на очистку, в том числе:	168300	100	1	Сбрасываемые газы, в том числе:	168884,221	100
	1.1 Воздух	168273,7	99,9		1.1 Воздух влажный	168873,7	99,9
	1.2 Пыль	16,83	0,01		1.2 Пыль	6,732	0,004
	1.3 C ₉ H ₁₀	8,415	0,005		1.3 C ₉ H ₁₀	3,366	0,002
	1.4 CO	0,44	0,00026		1.4 CO	0,177	0,000104
	1.5 NH ₃	0,34	0,0002		1.5 NH ₃	0,136	0,00008
	1.6 C ₂ H ₃ N	0,05	0,000003		1.6 C ₂ H ₃ N	0,02	0,0000012
	1.7 NO ₂	0,03	0,0000017		1.7 NO ₂	0,012	0,00000068
	1.8 C ₂ – C ₅	0,165	0,098		1.8 C ₂ – C ₅	0,066	0,0392
	1.9 C ₇ H ₈	0,03	0,0000017		1.9 C ₇ H ₈	0,012	0,00000068
2	Вода	20000	100	2	Шлам газоочистки, в том числе:	19415,779	100
					2.1 Вода	19400	99,9

Приход				Расход			
№	Поток	Кг/ч	%	№	Поток	Кг/ч	%
				2.2	Пыль	10,098	0,006
				2.3	C_9H_{10}	5,049	0,003
				2.4	CO	0,263	0,000156
				2.5	NH_3	0,204	0,00012
				2.6	C_2H_3N	0,03	0,0000018
				2.7	NO_2	0,018	0,00000102
				2.8	C_2-C_3	0,099	0,0588
				2.9	C_7H_8	0,018	0,00000102
Всего:		188300		Всего:		18 880	

4.2 Материальный баланс предлагаемой схемы газоочистки

В качестве скрубберной жидкости в схеме (рисунок 2.4) предложено использовать возвратный серум после коагуляции крошки каучука. Циркуляция серума в скруббере составляет $20 \text{ м}^3/\text{ч}$.



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

Рисунок 2.4 – Схема материальных потоков (авторская схема)

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

Содержание анионоактивных поверхностно-активных веществ (АПАВ) в возвратном серуме в среднем составляет 100 мг/дм³, катионоактивных поверхностно-активных веществ (КТАПАВ) – в среднем 50 мг/дм³ [3].

Механический унос серума составляет 3 %. Поверхностный слив серума составляет 2 м³/ч. Плотность серума принимаем равной плотности воды.

Механический унос серума составляет 3 %:

$$M_y = 20000 \cdot 0,03 = 600 \text{ кг/ч.}$$

Находим массу АПАВ в серуме:

$$M_{\text{АПАВ}} = G_{\text{АПАВ}} \cdot M_C, \quad (5)$$

где $G_{\text{АПАВ}}$ – концентрация АПАВ в серуме, кг/м³;

M_C – масса серума, кг.

$$M_{\text{АПАВ}} = 0,001 \cdot 20000 = 20 \text{ кг/ч.}$$

Находим массу КТАПАВ в серуме:

$$M_{\text{КТАПАВ}} = 0,0005 \cdot 20000 = 10 \text{ кг/ч.}$$

Масса влажного воздуха равна:

$$168273,7 + 600 = 168873,7 \text{ кг/ч.}$$

Масса веществ в шламе газоочистки находим по формуле (6):

$$M_B = G_x \cdot 0,85, \quad (6)$$

где G_x – концентрация веществ кг/м³;

0,85 – степень очистки, %.

Масса пыли в шламе равна:

$$M_{\text{п}} = 16,83 \cdot 0,85 = 14,355 \text{ кг/ч.}$$

Масса альфа-метилстирола в шламе равна:

$$M_{\text{C}_9\text{H}_{10}} = 8,415 \cdot 0,85 = 7,15275 \text{ кг/ч.}$$

Масса оксида углерода в шламе равна:

$$M_{\text{CO}} = 0,44 \cdot 0,85 = 0,374 \text{ кг/ч.}$$

Масса аммиака в шламе равна:

$$M_{\text{NH}_3} = 0,34 \cdot 0,85 = 0,289 \text{ кг/ч.}$$

Масса ацетонитрила в шламе равна:

$$M_{\text{C}_2\text{H}_3\text{N}} = 0,05 \cdot 0,85 = 0,0425 \text{ кг/ч.}$$

Масса диоксида азота в шламе равна:

$$M_{\text{NO}_2} = 0,03 \cdot 0,85 = 0,0255 \text{ кг/ч.}$$

Масса углеводородов C2–C5 в шламе равна:

$$M_{\text{C}_2\text{--C}_5} = 0,165 \cdot 0,85 = 0,14025 \text{ кг/ч.}$$

Масса толуола в шламе равна:

$$M_{\text{C}_7\text{H}_8} = 0,03 \cdot 0,85 = 0,018 \text{ кг/ч.}$$

Масса серума на подпитку будет равна:

$$M_{\text{Сп}} = M_{\text{y}} + M_{\text{П}}, \quad (7)$$

где M_{y} – масса механического уноса серума кг/ч;

$M_{\text{П}}$ – масса поверхностного слива серума кг/ч.

$$M_{\text{Сп}} = 600 + 2000 = 2600 \text{ кг/ч.}$$

Массу АПАВ в серуме подпитки находим по формуле (5):

$$M_{\text{АПАВн}} = 2600 \cdot 0,001 = 2,6 \text{ кг/ч.}$$

Массу КТАПАВ в серуме подпитки находим по формуле (5):

$$M_{\text{КТАПАВн}} = 2600 \cdot 0,0005 = 1,3 \text{ кг/ч.}$$

Результаты расчета материального баланса по предлагаемой схеме представлены в таблице 2.8.

Таблица 2.8 – Материальный баланс предлагаемой схемы газоочистки

Приход				Расход			
№	Поток	Кг/ч	%	№	Поток	Кг/ч	%
1	Газы на очистку, в том числе:	168300	100	1	Сбрасываемые газы, в том числе:	168877,645	100
	1.1 Воздух	168273,7	99,9	1.1	Воздух влажный	168873,7	99,9
	1.2 Пыль	16,83	0,01	1.2	Пыль	2,5245	0,004
	1.3 C ₉ H ₁₀	8,415	0,005	1.3	C ₉ H ₁₀	1,26225	0,002
	1.4 CO	0,44	0,00026	1.4	CO	0,066	0,000104
	1.5 NH ₃	0,34	0,0002	1.5	NH ₃	0,051	0,00008
	1.6 C ₂ H ₃ N	0,05	0,000003	1.6	C ₂ H ₃ N	0,0075	0,0000012
	1.7 NO ₂	0,03	0,0000017	1.7	NO ₂	0,0045	0,00000068

Продолжение таблицы 2.8

Приход				Расход			
№	Поток	Кг/ч	%	№	Поток	Кг/ч	%
	1.8 C ₂ – C ₅	0,165	0,098		1.8 C ₂ – C ₅	0,02475	0,0392
	1.9 C ₇ H ₈	0,03	0,0000017		1.9 C ₇ H ₈	0,0045	0,00000068
2	Серум на циркуляцию, в том числе:	20000	100	2	Серум на циркуляцию, в том числе:	19400	100
	2.1 Вода	19970	99,85		2.1 Вода	19370	99,85
	2.2 АПАВ	20	0.1		2.2 АПАВ	19,4	0,1
	2.3 КТАПАВ	10	0,05		2.3 КТАПАВ	9,7	0,05
3	Серум на подпитку	2600	100	3	Шлам газоочистки, в том числе:	2622,355	100
	3.1 Вода	2596,1	99,85				
	3.2 АПАВ	2,6	0,1		2.1 Вода	2596,1	99,9
	3.3 КТАПАВ	1,3	0,05		2.2 АПАВ	2,6	0,02
					2.3 КТАПАВ	1,3	0,01
					2.2 Пыль	14,3055	0,006
					2.3 C ₉ H ₁₀	7,15275	0,003
					2.4 СО	0,374	0,000156
					2.5 NH ₃	0,289	0,00012
					2.6 C ₂ H ₃ N	0,0425	0,0000018
					2.7 NO ₂	0,0255	0,00000102
					2.8 C ₂ – C ₅	0,14025	0,0588
					2.9 C ₇ H ₈	0,0255	0,00000102
	Всего:	190900			Всего:	190900	

5 Анализ преимуществ предлагаемой технологии

В настоящее время для очистки воздушных выбросов от стирола, 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» [8].

Основным недостатком термokatалитического процесса, кроме использования дорогостоящих катализаторов, является его высокая энергоемкость, связанная с необходимостью предварительного подогрева очищаемого воздуха до 400÷500 °С, 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.

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.

Частично образование отложений снижается путем обработки отходящих газов в аппаратах ротоклонах умягченной водой.

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.

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.

Другим известным способом является очистка воздуха от органических соединений при температуре 20–100 °С озонированием озono-воздушной смесью на окисномарганцевом катализаторе, содержащем 10–60 мас. % активной У-МnO₂.

В этом случае углеводороды окисляются до 75–100 %.

Недостатком этого способа являются высокие расходы озона — от 2 до 4 мас. ч. на 1 мас. ч. загрязнений.

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.

Эффект очистки достигается за счет концентрирования на поверхности активированного угля органических соединений: стирола, винилциклогексена, олигомеров бутадиена и др. компонентов с одновременным катализом взаимодействия озона и углеводородов по свободнорадикальному 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, осмояющихся и загрязняющих поверхность воздуховода.

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 полиме-

ризации, 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.

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.

При повышенной температуре ($120\div 160$ °С) вместе с отработанным воздухом, содержащим до 300 мг/м³ стирола, до 50 мг/м³ этилбензола, димеры бутадиена, и парами воды удаляются, а затем, по мере охлаждения воздушного потока, конденсируются вязкие смолистые отложения на поверхности воздухопроводов, которые приводят к забивке оборудования и возможному самовозгоранию.

В состав таких летучих соединений входят низкомолекулярные фракции (до С12) 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 СКС-30АРКМ-15 и СКС-30АРКМ-27. Кроме того, из работающих сушилок с потоком отработанного воздуха увлекается некоторое количество мелкодисперсного каучука, талька, антиоксидантов и других видов загрязнений.

Указанные дополнительные загрязнения в отработанном воздухе помимо стирола, этилбензола и др. летучих углеводородов замедляют процесс термической очистки по заявленному способу, вызывают коррозию, засор смолистыми отложениями оборудования котловых агрегатов, что снижает производительность установ-

ки термического дожига как по объему очищаемого воздуха, так и по выработке пара и горячей воды.

Технической задачей предлагаемого способа является повышение степени термической очистки отработанного воздуха от углеводородов в производстве эмульсионных каучуков и исключение возможности забивок технологического оборудования котловых агрегатов смолистыми отложениями.

Поставленная задача достигается тем, что в предлагаемом способе термическую очистку отработанного воздуха производства эмульсионных каучуков от углеводородов осуществляют путем их сжигания совместно с природным газом в топке парогенераторного котла при температуре 900÷1200 °С с предварительной обработкой загрязненного воздуха водным раствором анионоактивных поверхностно-активных веществ. В качестве такого водного раствора предлагается использовать возвратный серум, образующийся после выделения каучука из латекса.

Возвратный серум в основном содержит смеси мыл смоляных и жирных кислот, которые входят в рецепт полимеризации в разных соотношениях, и остатки четвертичных аммониевых солей, которые используются при выделении каучуков из латексов.

Заключение

В данной курсовой работе рассмотрен метод предварительной очистки отходящих газов от сушильных агрегатов в производстве сополимерных каучуков с помощью скруббера ротационного типа.

Ротационное распыливающее устройство, отсутствие сухих зон, высокие окружные скорости газового потока, создание мелкодисперсной среды – все это обеспечивает устойчивую и эффективную работу ротационного скруббера при очистке газовых выбросов, содержащих вязкие, смолянистые загрязняющие вещества.

Предварительная степень очистки воздуха составляет 85 %, что существенно снижает отложения в воздуховодах и котле смолистых загрязнений. После дожига воздуха в парогенераторных печах степень очистки достигает 98 %.

Предлагаемое техническое решение дает возможность в условиях производства синтетических каучуков эмульсионной поли-

меризации осуществлять высокоэффективную очистку отработанного воздуха.

Экологический эффект достигается за счет замены воды, подаваемой в ротационный скруббер, на циркулирующий серум, что включает потребность свежей воды.

Сброс этой воды в канализацию составляет 20 м³/ч.

Список используемых источников

1. Ветошкин, А. Г. Инженерная защита атмосферы от вредных выбросов : учеб.-практ. пособие / А. Г. Ветошкин. – [2-е изд., доп. и перераб.] – Москва [и др.] : Инфра-Инженерия, 2019. – 316 с. – (Инженерная экология для бакалавриата). – URL: znanium.com/catalog/document?id=346709 (дата обращения: 30.09.2022). – ISBN 978-5-9729-0248-4.
2. Константинов, В. М. Экологические основы природопользования : учебник / В. М. Константинов, Ю. Б. Челидзе. – 15-е изд., стер. – Москва : Академия, 2014. – 236, [1] с. – ISBN 978-5-4468-1185-4.
3. СИБУР : [сайт]. – Москва, 2022. – URL: www.sibur.ru/ru/ (дата обращения: 30.09.2022).
4. Технологический регламент УСП СБСК ООО СИБУР Тольятти ТР-Е-2-31-15 Коагуляция бутадиен стирольного каучука утвержден 15.07.2015 (ред. от 28.09.2018).
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 : учеб. пособие / В. Г. Калыгин. – 6-е изд., испр. – Москва : Академия, 2019. – 365, [1] с. – (Высшее образование. Бакалавриат) (Защита окружающей среды). – ISBN 978-5-4468-7585-6.

9. Баранов, Д. А. Процессы и аппараты химической технологии : учеб. пособие / Д. А. Баранов. — Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2020. — 408 с. — ISBN 978-5-8114-2295-1.
10. Пикалов, Е. С. Процессы и аппараты защиты окружающей среды : механические и физические методы очистки промышленных выбросов в атмосферу и гидросферу : учеб. пособие / Е. С. Пикалов ; Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых. — Владимир : Изд-во ВлГУ, 2015. — 79 с. — ISBN 978-5-9984-0560-0.
11. Процессы и аппараты химической технологии. Общий курс. Учебник. В 2 книгах. Книга 1 / [В. Г. Айнштейн, М. К. Захаров, Г. А. Носов [и др.] ; под ред. В. Г. Айнштейна. — 8-е изд., стер. — Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2019. — 916 с. — ISBN 978-5-8114-2976-9.
12. Патент № 2564341 С2 Российская Федерация, МПК В01D 53/00 (2006.01). Способ термической очистки отработанного воздуха производства эмульсионных каучуков от углеводородов : № 2014100529/05 : заявл. 09.01.2014 ; опубл. 27.09.2015 / П. Т. Полуэктов, В. Н. Папков, Л. А. Власова. — 10 с.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Баранов, Д. А. Процессы и аппараты химической технологии : учеб. пособие / Д. А. Баранов. — 3-е изд., стер. — Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2020. — 408 с. — ISBN 978-5-8114-4984-2.
2. Ветошкин, А. Г. Техника и технология обращения с отходами жизнедеятельности. Учебное пособие. В 2 частях. Часть 2. Переработка и утилизация промышленных отходов / А. Г. Ветошкин. — Москва [и др.] : Инфра-Инженерия, 2018. — 380 с. — ISBN 978-5-9729-0234-7.
3. Ветошкин, А. Г. Технологии защиты окружающей среды от отходов производства и потребления : учеб. пособие / А. Г. Ветошкин. — 2-е изд., испр. и доп. — Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2016. — 303 с. — ISBN 978-5-8114-2035-3.
4. Вобликова, Т. В. Процессы и аппараты пищевых производств : учеб. пособие / Т. В. Вобликова, С. Н. Шлыков, А. В. Пермяков. — 4-е изд., стер. — Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2019. — 204 с. — ISBN 978-5-8114-4163-1.
5. Козадерова, О. А. Расчеты материальных и тепловых балансов в технологии минеральных удобрений : учеб. пособие / О. А. Козадерова, С. И. Нифталиев ; науч. ред. С. И. Нифталиев. — Воронеж : Воронежский государственный университет инженерных технологий, 2018. — 55 с. — ISBN 978-5-00032-318-2.
6. Москвичев, Ю. А. Теоретические основы химической технологии : учеб. пособие / Ю. А. Москвичев, А. К. Григоричев, О. С. Павлов. — 4-е изд., стер. — Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2020. — 271 с. — ISBN 978-5-8114-4983-5.
7. Организация и управление твердыми коммунальными отходами города в рамках экологического менеджмента : монография / В. Г. Ларионов, М. Н. Павленков, П. М. Воронин [и др.] ; науч. ред. В. Г. Ларионова, М. Н. Павленкова. — Москва : Дашков и К, 2018. — 366 с. — ISBN 978-5-394-03338-4.
8. Основы химической технологии : электрон. учеб. пособие / А. А. Голованов, Н. Н. Пономарева, Г. И. Остапенко [и др.] ; под общ. ред. Г. И. Остапенко ; Тольяттинский государственный университет. — Тольятти : Изд-во ТГУ, 2018. — 387 с. — ISBN 978-5-8259-1380-3.

9. Оценка экологического состояния окружающей среды городских территорий методами биоиндикации и биотестирования : монография / Ю. А. Мандра, Е. Е. Степаненко, С. В. Окрут [и др.]. – Ставрополь : Секвоя, 2018. – 175 с.
10. Очистка и рекуперация промышленных выбросов : метод. указания / сост.: А. А. Багаев, А. В. Шелоумов ; Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С. М. Кирова. – Санкт-Петербург : [СПбГЛТУ], 2018. – 20 с.
11. Перегудов, Ю. С. Комплексное использование сырья и утилизация отходов : сборник задач : учеб. пособие / Ю. С. Перегудов, О. А. Козадерова, С. И. Нифталиев ; науч. ред. С. С. Нифталиев. – Воронеж : Воронежский государственный университет инженерных технологий, 2018. – 71 с. – ISBN 978-5-00032-313-7.
12. Перегудов, Ю. С. Переработка отходов в химической технологии неорганических веществ : учеб. пособие / Ю. С. Перегудов, С. И. Нифталиев ; науч. ред. С. С. Нифталиев. – Воронеж : Воронежский государственный университет инженерных технологий, 2019. – 50 с. – ISBN 978-5-00032-430-1.
13. Процессы и аппараты пищевых производств и биотехнологии : учеб. пособие / Д. М. Бородулин, М. Т. Шулбаева, Е. А. Сафонова, Е. А. Вагайцева. – 3-е изд., стер. – Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2020. – 290 с. – ISBN 978-5-8114-5136-4.
14. Процессы и аппараты химической технологии. Общий курс. Учебник. В 2 книгах. Книга 1 / [В. Г. Айнштейн, М. К. Захаров, Г. А. Носов [и др.] ; под ред. В. Г. Айнштейна. – 8-е изд., стер. – Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2019. – 916 с. – ISBN 978-5-8114-2976-9.
15. Руденко, Е. Ю. Современные проблемы экологии, энерго- и ресурсосбережения в биотехнологии : лабораторный практикум / Е. Ю. Руденко. – Самара : Самарский государственный технический университет, 2018. – 50 с.
16. Сарданашвили, А. Г. Примеры и задачи по технологии переработки нефти и газа : учеб. пособие / А. Г. Сарданашвили, А. И. Львова. – 5-е изд., стер. – Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2019. – 253 с. – ISBN 978-5-8114-3990-4.

17. Сбор и переработка твердых коммунальных отходов : монография / Л. И. Соколов, С. М. Кибардина, С. Фламме, П. Хазенкамп. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва [и др.] : Инфра-Инженерия, 2018. — 176 с. — ISBN 978-5-97290-155-5.
18. Соколов, Л. И. Переработка и утилизация нефтесодержащих отходов : [монография] / Л. И. Соколов. — [2-е изд., испр. и доп.]. — Москва [и др.] : Инфра-Инженерия, 2017. — 158 с. — ISBN 978-5-9729-0153-1.
19. Сутягин, В. М. Общая химическая технология полимеров : учеб. пособие / В. М. Сутягин, А. А. Ляпков. — 5-е изд., стер. — Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2020. — 204 с. — ISBN 978-5-8114-4991-0.
20. Утилизация отходов производства : учеб. указания / Ю. Ф. Абакумов, Е. Д. Демьянов, С. С. Зуйков [и др.]. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2018. — 107, [1] с. — ISBN 978-5-7038-4793-0.
21. Хорошавин, Л. Б. Основные технологии переработки промышленных и твердых коммунальных отходов : учеб. пособие / Л. Б. Хорошавин, В. А. Беляков, Е. А. Свалов ; Уральский федеральный университет имени первого президента России Б. Н. Ельцина. — Екатеринбург : Изд-во Уральского университета, 2016. — 218, [1] с. — ISBN 978-5-7996-1747-9.
22. Цирельман, Н. М. Теория и прикладные задачи тепломассопереноса : учеб. пособие / Н. М. Цирельман. — 2-е изд., испр. — Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2019. — 500 с. — ISBN 978-5-8114-3621-7.
23. Шишлов, О. Ф. Расчёты материальных балансов производства полимерных композиционных материалов : учеб. пособие / О. Ф. Шишлов, В. В. Глухих. — Екатеринбург : Уральский государственный лесотехнический университет, 2019. — 169 с. — ISBN 978-5-94984-718-3.

Форма титульного листа курсовой работы

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 кафедры/департамента/центра полностью)

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))

КУРСОВАЯ РАБОТА

по дисциплине (учебному курсу)

Технология переработки и утилизации отходов 2

(наименование дисциплины (учебного курса))

на тему Проектирование энерго- и ресурсосберегающих процессов
в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии

Студент _____

(И.О. Фамилия)

Руководитель _____

(И.О. Фамилия)

Оценка: _____

Дата: _____

(подпись руководителя)

Тольятти 2022

Форма листа задания курсовой работы

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 кафедры/департамента/центра полностью)

ЗАДАНИЕ

на выполнение курсовой работы

Студент _____

1. Тема Проектирование энерго- и ресурсосберегающих процес-
сов в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии

2. Срок сдачи студентом законченной курсовой работы _____

3. Исходные данные к курсовой работе Данные НИР

4. Содержание курсовой работы (перечень подлежащих разра-
ботке вопросов, разделов):

1. Описание технологической установки/процесса (технологи-
ческая схема, стадии технологического процесса, технологические
показатели, обоснование выбора)

2. Расчет материального и энергетического балансов

3. Анализ преимуществ предлагаемой технологии

4. Ориентировочный перечень графического и иллюстративно-
го материала (с точным указанием чертежей и форматов их пред-
ставления) не предусмотрено

5. Рекомендуемые учебно-методические материалы Методи-
ческие указания к выполнению курсовой работы по дисциплине
«Технологии переработки и утилизации отходов 2»

6. Дата выдачи задания « ___ » _____ 20__ г.

Руководитель курсовой работы _____

(подпись)

(И.О. Фамилия)

Представитель работодателя _____

(подпись)

(И.О. Фамилия)

Приложение В

Технологическая схема сушилки С-1/5,6

