

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

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра «Химическая технология и ресурсосбережение»

(наименование)

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

(код и наименование направления подготовки)

Рациональное природопользование, рециклинг и утилизация отходов

(направленность (профиль))

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему: Модернизация установки азеотропной осушки шихты производства СКИ-3

Обучающийся

Д.А. Митрофанова

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.х.н., доцент, Ю.Н. Орлов

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

Аннотация

Процесс азеотропной осушки шихты производства синтетического изопренового каучука предприятия ООО «Тольяттикаучук» является объектом исследования.

Целью бакалаврской работы является: увеличение производительности установки азеотропной осушки изопентан-изопреновой шихты, улучшить качество производимой продукции избавившись от влаги в изопентан-изопреновой шихте

В рамках данной бакалаврской работы проведена расчетная работа по модернизации установки азеотропной осушки шихты производства синтетического изопренового каучука предприятия ООО «Тольяттикаучук».

В литературном обзоре рассмотрены физико-химические закономерности протекания процесса азеотропной осушки изопентан-изопреновой шихты.

Проведен поиск технических решений и предложен вариант модернизации процесса азеотропной осушки.

Рассчитан материальный баланс колонны №256 процесса азеотропной осушки изопентан-изопреновой шихты.

Рассчитаны тепловые балансы и выполнены конструктивные расчеты конденсатора и кипятильника.

Бакалаврская работа изложена на 42 страницах, включает 2 рисунка, 8 таблиц и использовано 31 источник.

Abstract

The process of azeotropic drying of the synthetic isoprene rubber mixture at the «Toglyattikauchuk» company is the subject of investigation.

The aim of this bachelor's thesis is to increase the productivity of the azeotropic drying unit for the isopentane-isoprene mixture and improve the quality of the produced products by removing moisture from the isopentane-isoprene mixture.

Within the scope of this bachelor's thesis, a design study has been conducted for the modernization of the azeotropic drying unit for the production of synthetic isoprene rubber at the «Toglyattikauchuk» company.

The literature review examines the physicochemical regularities of the azeotropic drying process for the isopentane-isoprene mixture.

Technical solutions have been sought and a proposed option for the modernization of the azeotropic drying process has been provided.

The material balance of column No. 256 for the azeotropic drying process of the isopentane-isoprene mixture has been calculated.

Heat balances have been calculated, and structural calculations have been performed for the condenser and reboiler.

The bachelor's thesis consists of 42 pages, including 2 figures, 8 tables, and references to 31 sources.

Содержание

Введение.....	5
1 Литературный обзор	7
1.1 Азеотропная осушка	7
1.2 Изопреновый каучук.....	7
1.3 Физико-химические основы получения СКИ	8
1.4 Синтетический изопреновый каучук и его свойства.....	11
1.5 Применение каучуков марки СКИ-3.....	12
1.6 Патентная часть.....	13
1.7 Обоснование выбора модернизации производства	16
2 Технологическая часть.....	18
2.1 Характеристика сырья и продуктов	18
2.2 Описание технологической схемы	19
3 Расчетная часть.....	26
3.1 Материальный баланс колонны 256.....	26
3.2 Тепловой баланс конденсатора.....	28
3.3 Расчет кожухотрубчатого конденсатора.....	29
3.4 Тепловой баланс кипятильника	33
3.5 Расчет кипятильника.....	34
Заключение	40
Список используемой литературы и используемых источников.....	41

Введение

Производство СКИ-3 является одной из важных отраслей химической промышленности. На сегодняшний день одной из ключевых технологий в производстве СКИ-3 является азеотропная осушка шихты.

«Стадия азеотропной осушки изопентан-изопреновой шихты – ключевая стадия производства изопренового каучука. Так как с этой стадии начинается производство синтетического каучука» [17], [21].

Сырьем являются изопентан-изопреновая фракция и изопрен, которые перед подачей на полимеризацию должны быть смешаны, в результате чего получается изопентан-изопреновая шихта, которая обязательно должна быть осушена, так как наличие влаги в шихте приводит к снижению скорости, вязкости, увеличению гель-фракции, и при контакте с каталитическим комплексом приводит к образованию структурированного полимера процесса полимеризации.

Существующая установка азеотропной осушки шихты имеет низкую эффективность и требует значительных ресурсов на поддержание работоспособности.

Модернизация установки позволит увеличить эффективность процесса, снизить затраты на энергию и сырье, а также улучшить качество продукции. Важно отметить, что модернизация установки должна проводиться в соответствии с современными требованиями к экологической безопасности, так как это позволит снизить вредное воздействие на окружающую среду.

В данной работе будут рассмотрены основные аспекты модернизации установки азеотропной осушки шихты производства СКИ-3, а также ее влияние на качество и количество производимой продукции. Будет рассмотрено современное оборудование и технологии, используемые в азеотропной осушке шихты, и их преимущества перед традиционными методами. Также будут описаны процессы, происходящие в установке азеотропной осушки шихты, и как они влияют на качество продукции.

Наконец, в работе будут рассмотрены практические аспекты модернизации установки азеотропной осушки шихты. Будет проанализировано, какие изменения необходимо внести в производственный процесс для успешной реализации модернизации. Будут рассмотрены вопросы финансовой эффективности и окупаемости модернизации.

Таким образом, модернизация установки азеотропной осушки шихты производства СКИ-3 является важным шагом в развитии производства и повышении его эффективности и качества продукции.

Данная работа направлена на повышение эффективности процесса азеотропной осушки изопентан-изопреновой шихты в установке ООО "Тольяттикаучук" путем замены кипятильника и конденсатора. Для достижения этой цели ставятся следующие задачи:

- изучение назначения процесса и физико-химических закономерностей, определяющих его протекание;
- выявление технологической проблемы и предложение способа ее решения;
- расчет материального и теплового баланса;
- произвести конструктивный расчет ректификационной колонны, кипятильника и конденсатора;

1 Литературный обзор

1.1 Азеотропная осушка

«Азеотропная сушка - осушка растворителя путем отгона азеотропной смеси и воды. Азеотропная осушка основана на свойстве некоторых жидких смесей, содержащих компоненты с ограниченной взаимной растворимостью, кипеть при температуре ниже температуры кипения легколетучего компонента. При этом выделяется пар постоянного состава, после конденсации которого образуются два жидких слоя, представляющие собой насыщенные растворы одного компонента в другом. Количество выделяющегося пара зависит от составов пара и исходной смеси: когда один из компонентов почти полностью отгонится, кипение при данной температуре и выделение пара прекращаются.

Изопентан-изопреновая шихта приготавливается непрерывно путем смешения изопрена-ректификата и возвратной изопентан-изопреновой фракции в расчетных количествах» [17], [19].

В состав осушенной изопентан-изопреновой шихты входит:

- изопрен в количестве 13-18 %;
- влага, которая присутствует в не более 0,0005 %;
- изоамилены содержащиеся в шихте в пределах не более 20 %.

1.2 Изопреновый каучук

«Изопреновый каучук - синтетический каучук, получаемый применением новых комплексных катализаторов стереоспецифической полимеризации в растворителях. Химический состав изопренового каучука приблизительно идентичен натуральному каучуку. Поэтому, свойства этих двух эластомеров похожи» [17], [22].

«Изопрен является мономером натурального каучука, а также исходным строительным материалом широкого ряда других природных соединений – изопреноидов и терпеноидов» [26].

«Способность при определенных условиях образовывать полимер, очень близкий по своим свойствам к натуральному каучуку явилась причиной высокого интереса к этому мономеру крупнотоннажной химической промышленности. На производстве выпускаются две марки изопренового каучука СКИ-3 и СКИ-3С. Отличие этих марок заключается в типе используемого стабилизатора – окрашивающего (для СКИ-3) и не окрашивающего (для СКИ-3С)» [6], [29].

1.3 Физико-химические основы получения СКИ

«Синтетический каучук — это любой тип искусственно созданного полимерного материала, который действует как эластомер. Эластомер – класс высокомолекулярных соединений. Имеет высокую гибкость полимерных цепей, за счет этого при воздействии на полимер он не меняет ни форму, ни размер. Для истинного эластомера характерна только обратимая деформация» [2], [14].

Один из наиболее распространенных способов получения синтетических каучуков - это процесс полимеризации. Этот процесс заключается в соединении мономеров в полимерную цепь при помощи химических реакций, таких как радикальная полимеризация, ионная полимеризация и др.

Процесс синтеза СК обычно начинается с получения мономеров. Мономеры могут быть получены путем ряда химических процессов, таких как синтез с использованием катализаторов, гидролиз или окисление. Затем мономеры полимеризуются в полимерную цепь, обычно при использовании катализаторов, чтобы ускорить процесс реакции.

После полимеризации полимер может быть подвергнут ряду физико-химических процессов, таких как модификация и обработка, чтобы изменить свои свойства. Например, добавление различных мономеров или функциональных групп может изменить такие свойства как его эластичность, прочность или устойчивость к температуре.

Для получения синтетических каучуков на основе стирола и бутадиена применяют метод полимеризации в эмульсии. В этом процессе мономеры (стирол и бутадиен) разбавляют водой и эмульгируют при помощи эмульгаторов. Затем к этой смеси добавляют растворитель (например, н-бутиловый литий), который приводит к активации мономеров и началу полимеризации. Полимеризацию проводят при температуре около 50 градусов Цельсия в течение нескольких часов, в результате чего образуется СК.

Для получения нитрильных синтетических каучуков применяют метод кополимеризации. Кополимеризация - это процесс соединения двух или более разных мономеров в единый полимер. Это позволяет получать СК с необходимыми свойствами, такими как эластичность, прочность и другие. В этом процессе мономеры (акрилонитрил и бутадиен) смешивают и полимеризуют в присутствии инициаторов и катализаторов. После полимеризации происходит гидролиз, в результате которого образуется нитрильный СК.

Для получения хлоропреновых СК используют сульфатирование, при котором происходит сульфатирование бутадиена, а затем хлорирование полученного продукта. Этот процесс позволяет получить хлоропреновый каучук с высокой степенью стабильности и прочности.

Таким образом, процесс получения синтетических каучуков основан на ряде физико-химических процессов, включая синтез мономеров, полимеризацию и модификацию полимера. Добавление модификаторов и стабилизаторов также играет важную роль в их получении. Модификаторы могут изменять свойства, например, повышать его стойкость к температурным воздействиям, а стабилизаторы защищают полимер от разрушения в процессе

эксплуатации. Различные методы и технологии используются для оптимизации процесса синтеза и получения синтетических каучуков с требуемыми свойствами и характеристиками.

Некоторые каучуки обладают хорошей механической прочностью, другие обладают химической стойкостью или газонепроницаемостью, третьи не боятся перепадов температуры. Синтетические каучуки обладают свойствами, которые значительно превосходят свойства натурального каучука. Однако, по отношению к эластичности, натуральный каучук до сих пор остается непревзойденным, особенно для таких продуктов, как авиационные или автомобильные шины, где эластичность является важнейшим свойством.

«При эксплуатации они всегда испытывают огромную деформацию - как растяжение, так и сжатие, что вызывает межмолекулярное трение, нагревание и потерю качеств. То есть, чем выше эластичность резины, тем прочнее изделие. По этой причине натуральный каучук еще не вышел из употребления и используется для производства шин высокоскоростных и тяжелых самолетов и автомобилей. Натуральный каучук — это полимер изопрена, поэтому работа ученых настолько велика, что изопреновый каучук становится аналогом натурального каучука» [1], [10].

«Изопрен – это ненасыщенный углеводород, принадлежащий к диеновой серии. Это летучая бесцветная жидкость. Запах очень характерный» [24].

«Изопреновый каучук является природным мономером, поскольку остаток его молекулы вошел во многие другие природные соединения - изопреноиды, терпеноиды и им подобные. В органических растворителях растворяется. С этиловым спиртом, например, можно смешивать любое соотношение. Но в воде растворяется плохо.

По химическим свойствам изопрен представляет собой типичный сопряженный диен, который вступает в реакции замещения, присоединения,

комплексообразования, циклизации, теломеризации. Активен в реакции с электрофилами и диенофилами» [4], [14].

1.4 Синтетический изопреновый каучук и его свойства

«Получение высокомолекулярного полиизопрена осуществляется в растворе изопентана в присутствии модифицированной каталитической системы на основе триизобутилалюминия и четыреххлористого титана» [6], [4].

«Полимеризат, получаемый на установке полимеризации изопрена, является промежуточным продуктом получения каучука СКИ-3 и СКИ-3С.

Основными показателями режима процесса полимеризации являются: температура, дозировка катализатора, время пребывания реакционной массы в системе» [25], [30].

«Синтетические изопреновые каучуки хорошо совмещаются со всеми диеновыми каучуками. Важнейшее свойство диенов — их способность к полимеризации, которая используется для получения синтетических каучуков.

Изопреновый синтетический каучук является в основном цис1,4-полиизопреном. Полимеризация изопрена под действием таких инициаторов, как натрий или калий в малополярных растворителях, приводит к образованию 1,2-, 3,4- и транс-1,4-полиизопрена. Иницирование полимеризации литием в неполярном растворителе ведёт к получению каучука, содержащего 94% цис-звеньев. Использование катализаторов Циглера-Натта позволяет получить каучук, практически идентичный натуральному. При полимеризации изопрена в отсутствие стереохимического контроля в принципе возможно образование различных полимерных продуктов» [2], [6].

«Изопреновые каучуки являются каучуками общего назначения. Их применяют вместо натурального как самостоятельно, так и в сочетании с другими эластомерами при изготовлении практически всех резиновых изделий: в шинной промышленности -56%, разнообразных резинотехнических

изделий, таких как, транспортные ленты, рукава, формовые и неформовые детали -19%, резиновой обуви -2%, в медицинской промышленности и прочее -4%. Изопреновые каучуки, содержащие неокрашивающие и нетоксичные стабилизаторы, применяют для изготовления медицинских изделий, резин, контактирующих с пищевыми продуктами, и изделий широкого потребления (игрушки, мячи и т. д.). Специальные типы СКИ-3 используют для производства вакуумных резин и в кабельной промышленности для изготовления электроизоляции. На основе СКИ-3 получают латекс изопренового каучука, используемый для изготовления губчатых резин и различных пленочных изделий. На основе этого каучука получают эбониты» [7], [8].

1.5 Применение каучуков марки СКИ-3

«Синтетический каучук изопреновый (СКИ), представляет собой полимер, который содержит звенья 1,4- цис - не менее 96 %.

$(iC_5H_8)_n$ – эмпирическая формула.

Представляет собой эластичную, однородную, монолитную массу.

Синтетический каучук горюч, не ядовит, растворим в бензоле, бензине, изопентане, хлороформе и других растворителях.

Показатели СКИ: плотность: 910–920 кг/м³; температура воспламенения: 290°C; температура самовоспламенения: 320°C.

Основная масса изопрена, который производится в настоящее время, используется в синтезе изопренового каучука, сходного по структуре и свойствам с натуральным каучуком. Особенно широко используется для производства шин. Есть еще один продукт полимеризации изопрена, транс-1,4-полиизопрен, который используется гораздо реже, потому что он обладает гуттаперчевыми свойствами. Из него, например, делают изоляцию для проводов и мячей для гольфа. Изопреновый каучук используется для

производства всех видов резиновых изделий, где сочетаются натуральный и другие синтетические каучуки.

Свойства, особые характеристики и цены на каучук сильно различаются. Знания о преимуществах и недостатках каучука очень полезны при выборе самой дешевой резины и соответствии спецификациям ее использования.

С развитием потребностей человека и наряду с развитием науки, воспринимаемые ограничения природы и характеристик натурального каучука, среди прочего, не являются устойчивыми к высоким температурам, не устойчивы к атмосферным воздействиям, не устойчивы к химическим веществам и т. д.» [1], [31].

1.6 Патентная часть

Для оценки технической состоятельности разрабатываемой темы был выполнен поиск патентной информации в Интернете.

Исследование и анализ технических решений был проведён с целью выявления наиболее эффективных и экономически способов, которые позволят улучшить процесс производства.

Таблица 1 –Патентный обзор

Номер документа	Название документа	Патентообладатель	Источник информации
Патент SU 1134569 A1 Заявлен 12.09.83	«Способ управления процессом приготовления шихты в производстве изопренового каучука»	Поплавский В.Ф., Габбасов Р.К., Киселев О.А., Кукарцев Е.М., Абросимов Г.М., Максимов М.Н., Майзлах И.А.	Интернет
Патент SU 1024453 A1 Заявлен 1982.01.07	«Способ автоматического управления процессом приготовления полимеризационной шихты в производстве изопренового каучука»	Галкин В.И., Болдырев А.П., Поплавский В.Ф., Габбасов Р.К., Осовский Е.Л.	Интернет

Продолжение таблицы 1

Номер документа	Название документа	Патентообладатель	Источник информации
Патент SU 1199758 A1 Заявлен 1984.08.16	«Способ автоматического управления процессом получения синтетического каучука»	Поплавский В.Ф., Карелин С.А., Галкин В.И., Киселев О.А., Эстрин А.С., Кукарцев Е.М., Абросимов Г.М., Максимов М.Н., Шухин А.П.	Интернет

В патенте SU 1134569 A1 показан способ управления процессом приготовления шихты в производстве изопренового каучука заключается в измерении концентрации изопрена и влаги в шихте. Он обеспечивает более точное регулирование концентрации изопрена путем контроля расхода изопрена и изопентан-изопреновой фракции, а также более точное регулирование концентрации влаги путем контроля расхода пара в различных этапах процесса. Однако недостатком является низкая точность регулирования концентрации изопрена из-за скачкообразных изменений нагрузки на колонну азеотропной осушки при изменении расхода шихты. Кроме того, способ не предусматривает регулирование концентрации влаги в шихте, что является важным параметром процесса азеотропной осушки.

«Использование данного аппарата в качестве замены противоточного аппарата с мешалкой позволит уменьшить затраты электроэнергии и снизить себестоимость каучука» [11].

«Патент SU 1024453 A1 описывает способ автоматического управления процессом приготовления полимеризационной шихты в производстве изопренового каучука осуществляется через колонку азеотропной осушки и промежуточную емкость.

Целью является стабилизация состава шихты путем регулирования расходов изопрена-ректификата и возвратной фракции, зависящих от нагрузки на полимеризационные батареи, уровня шихты в промежуточной емкости,

скорости изменения уровня и концентрации изопрена в потоках. Для повышения точности регулирования концентрации изопрена в шихте используется разделение потока изопрена-ректификата на основной и байпасируемый» [10].

Однако этот метод не учитывает возмущения, связанные с изменением уровня шихты в промежуточной емкости, что ограничивает его точность регулирования состава шихты.

«Патент SU 1199758 A1 показывает конструкцию по способу автоматического управления процессом получения синтетического каучука основан на усреднении показателей полимера в полимеризате через смешение потоков из нескольких параллельно работающих полимеризационных батарей и изменение расхода шихты на батареи в зависимости от параметров процесса. Чтобы обеспечить однородность каучука и снизить затраты, измеряют расход шихты, уровень полимеризата и расход полимеризата из усреднителя. Сглаживание расхода полимеризата исключает скачкообразные изменения расходов шихты на полимеризационные батареи и тем самым исключает возмущения на процесс полимеризации. Это позволяет создать запас для повышения уровня в случае отключения агрегатов дегазации или выделения и тем самым исключить необходимость резких изменений расходов шихты» [12].

Таким образом, данный способ автоматического управления обладает преимуществами в виде повышения однородности каучука, снижения затрат и обеспечения непрерывности процесса, что делает его более предпочтительным в производстве синтетического каучука.

Патентный поиск показал, каким образом можно усовершенствовать процесс производства СКИ и его качество. Эти технические решения, направлены на оптимизацию использования оборудования, повышение производительности и снижение расхода сырья.

1.7 Обоснование выбора модернизации производства

«Стадия азеотропной осушки изопентан-изопреновой шихты – ключевая стадия производства изопренового каучука. Так как с этой стадии начинается производство синтетического каучука» [17].

Так как главной проблемой осушки изопентан-изопреновой шихты является наличие влаги, которая сильно влияет на качество продукта в первую очередь.

Кипятильник обеспечивает достаточную температуру, при которой происходит испарение влаги, а оставшиеся компоненты шихты, такие как изопентан, остаются в жидком состоянии.

Кипятильник осуществляет перевод воды из жидкого состояния в парообразное, что позволяет удалить влагу из шихты. После этого пар вместе с водой направляется в конденсатор для конденсации обратно в жидкое состояние и отделения от исходной шихты.

Конденсатор в свою очередь служит для конденсации пара, содержащего воду, образующегося в кипятильнике. Пар, содержащий воду, направляется из кипятильника в конденсатор, где происходит его охлаждение. Под действием охлаждения пар конденсируется обратно в жидкое состояние, превращаясь в воду. Это позволяет отделить воду от остальных компонентов шихты. Роль конденсатора заключается в том, чтобы обеспечить конденсацию пара и отделение воды от шихты. Он обычно оснащен системой охлаждения, которая позволяет снизить температуру пара и обеспечить его конденсацию.

Таким образом, кипятильник и конденсатор играют одну из ключевых ролей в процессе азеотропной осушки, обеспечивая перевод воды в парообразное состояние и разделение ее от остальных компонентов шихты.

Чтобы обосновать выбор модернизации производства путем замены кипятильника и конденсатора в азеотропной осушке изопентановой шихты, хочу привести ряд факторов, которые имеют важное значение для производства изопентановой шихты.

Для начала улучшение эффективности. Замена устаревших кипятильника и конденсатора на более современное оборудование позволит повысить эффективность процесса осушки изопентановой шихты. Новое оборудование может обладать более высокой теплоэффективностью, что позволит сократить время осушки и снизить энергозатраты.

Улучшение качества продукта: Азеотропная осушка играет важную роль в удалении влаги из изопентановой шихты. Замена устаревшего оборудования может способствовать более эффективному удалению влаги и повышению качества конечного продукта. Более современное оборудование может обеспечить более точный контроль температуры и давления, что снизит возможность образования нежелательных примесей в процессе осушки.

Снижение операционных рисков: Устаревшее оборудование может представлять риск возникновения аварийных ситуаций или неполадок в процессе осушки. Замена его на современное и надежное оборудование с улучшенными системами безопасности и контроля поможет снизить операционные риски и обеспечить более стабильную и надежную работу процесса осушки.

Соответствие требованиям экологической безопасности: Современные кипятильники и конденсаторы могут быть разработаны с учетом требований экологической безопасности. Они могут быть более энергоэффективными и экологически чистыми, что соответствует современным стандартам и нормам. Это позволит снизить воздействие производства на окружающую среду и повысить экологическую устойчивость предприятия.

В целом, выбор модернизации производства заменой кипятильника и конденсатора в азеотропной осушке изопентановой шихты обоснован необходимостью повышения эффективности процесса, улучшения качества продукта, снижения операционных рисков и соответствия экологическим требованиям.

2 Технологическая часть

2.1 Характеристика сырья и продуктов

«Полимеризация изопрена может проводиться в различных алифатических и ароматических углеводородах, хорошо растворяющих образующийся полимер. Из известных растворителей наилучшими являются пентан, гексан, гептан. За ними следуют изопентан, бутан, изооктан. Существенного влияния данные растворители на микроструктуру полиизопрена не оказывают. Но наиболее высока скорость полимеризации при использовании бензола и изопентана, но в промышленности нашел применение последний.

Достоинства пентана: сравнительно невысокая вязкость полимеризата, возможность получения высокомолекулярного полимера в течение всего периода полимеризации, низкая температура кипения, что облегчает процесс выделения каучука.

Для приготовления шихты изопрен-ректификат и растворитель смешивают в рассчитанных количествах с возвратной изопентан-изопреновой фракцией, прошедшей необходимую очистку. Контроль за концентрацией изопрена в шихте осуществляется автоматическим хроматографом» [15], [19].

В таблице 2 представлены нормативы для сырья и готовой продукции, которые отражаются в результатах анализов, проводимых центральной лабораторией завода с периодичностью 1 раз в 12 часов.

Таблица 2 – Характеристика сырья, материалов и полупродуктов

Наименование показателя	Регламентируемые показатели
Изопрен-ректификат (прозрачная жидкость)	Высший сорт Массовая доля, %: -изопрена, не менее 99,0; суммы бутенов и пентенов, не более 1,0; циклопентадиена (ЦПД), не более 0,0001а- ацетиленовых углеводородов, не более 0,0002; карбонильных соединений, не более 0,0002; содержание нерастворимой влаги отс.; перекисных соединений (не активный кислород), не более 0,0005
Возвратная изопентан-изопреновая фракция (прозрачная жидкость)	Углеводородный состав: массовая доля углеводородов C ₂ -C ₄ , %, не более 0,2; массовая доля углеводородов C ₆ и выше отс. Массовая доля влаги, %, не более 0,001. Массовая доля микропримесей, %, не более: циклопентадиена, карбонильных соединений, а-ацетиленовых углеводородов, МТБЭ- не норм.
Осушенная изопентан-изопреновая шихта	Массовая доля: влаги не более 0,0005 % изопрена 15-19 % изоамиленов не регламентируется изопентана не регламентируется карбонильных соединений не более 0,0003% ацетиленовых Соединений не более 0,0002 % циклопентадиена не более 0,0001 %

Данные в таблицы были приведены из постоянного технологического регламент производства СКИ-3 цеха ИП-5 ООО «Тольяттикаучук».

2.2 Описание технологической схемы

Приготовление изопентан-изопреновой шихты производится на основании расчета, путем смешения изопрена-ректификата и возвратной изопентан-изопреновой фракции (ВИИФ).

Расчет производится по следующим формулам:

Количество изопрена-ректификата (A_1), которое необходимо подать на приготовление шихты рассчитывается по формуле 1.

$$A_1 = A \frac{C-C_2}{C_1-C_1}, \text{ т/час} \quad (1)$$

Количество изопентан-изопреновой фракции (A_2), которое необходимо подать на приготовление шихты рассчитывается по формуле 2.

$$A_2 = A \frac{C-C_2}{C_1-C_1}, \text{ т/час} \quad (2)$$

где A - количество шихты, которое необходимо приготовить (т/час);

A_1 - количество изопрена-ректификата, которое необходимо подать на приготовление шихты (т/час);

A_2 - количество изопентан-изопреновой фракции, которое необходимо подать на приготовление шихты (т/час);

C - концентрация изопрена в шихте (% масс.) задается распоряжением начальника установки УПиВЩО;

C_1 - концентрация изопрена в изопрене-ректификате (% масс.) по анализам;

C_2 - концентрация изопрена в изопентан-изопреновой фракции (% масс.) по хроматографу и по анализам.

Произведем расчет по формуле 1:

$$A = 60 \text{ тн/час}$$

$$C = 16 \% \text{ масс.}$$

$$A_1 = 60 \cdot \frac{16 - 4}{99 - 4} = 7,6 \text{ т/час}$$

Произведем расчет по формуле 2

$$C_1 = 99 \% \text{ масс.}$$

$C_2=4$ % масс.

$$A_2 = 60 \cdot \frac{99 - 16}{99 - 4} = 52,4 \text{ т/час}$$

При изменении количества подаваемой шихты, концентраций изопрена в изопрене-ректификате, в изопентан-изопреновой фракции (в возвратном растворителе) и в осушенной изопентан-изопреновой шихте необходимо производить перерасчет подачи компонентов для приготовления шихты. Изопрен-ректификат из ИП-20-30 принимается в емкость №86.

«Изопрен-ректификат из емкости № 86 насосом № 86б подается на смешение с изопентан-изопреновой фракцией (возвратным растворителем), поступающей из емкости № 32/2 отделения ИП-20-30. Смесь изопрена-ректификата с возвратным растворителем называется изопентан-изопреновой шихтой.

Изопентан-изопреновая шихта с содержанием изопрена $15 \div 19$ % масс. через межтрубное пространство рекуператора № 262а, где она подогревается за счет тепла кубового продукта колонны № 256, или минуя его, подается в колонну азеотропной осушки шихты № 256» [24], [26].

В колонне № 256 производится азеотропная осушка шихты от растворенной в ней влаги.

Обогрев колонны № 256 осуществляется через выносные кипятильники № 257, в межтрубное пространство которого подается пар или горячая вода.

Паровой конденсат из кипятильника № 257 поступает в сборник конденсата № 231» [9].

Предусмотрен обогрев куба колонны № 256 горячей водой, подаваемой в межтрубное пространство кипятильника № 257.

Горячая вода принимается из ТoТЭЦ с давлением не более $4,5 \text{ кгс/см}^2$.

Для защиты межтрубного пространства кипятильника № 257 от завышения давления установлен предохранительный клапан со сбросом воды в химзагрязненную канализацию.

«Из куба колонны № 256 поднимаются пары углеводородов и воды. Между жидкостью и парами углеводородов на тарелках происходит массообмен, в результате, которого из жидкой фазы испаряется азеотроп (нераздельно кипящая смесь паров изопентана, изопрена и воды с температурой кипения 26°C).

Таким образом, изопентан-изопреновая шихта по мере стекания вниз по колонне освобождается от влаги, а поднимающиеся вверх пары насыщаются водой.

С верха колонны № 256 пары изопентана, изопрена и воды (азеотроп) поступают в межтрубное пространство дефлегматора № 258/1, охлаждаемого оборотной водой. Несконденсированные пары углеводородов из дефлегматора № 258/1 поступают в рассольный конденсатор № 258а на дополнительную конденсацию» [9].

«Давление верха колонны выдерживается не более 1,5 кгс/см² регулятором поз. №6274. Регулирующий клапан установлен на линии отдувок из конденсатора № 258а» [5].

Завышение давления верха в колонне № 256 до 1,5 кгс/см² сигнализируется. При завышении давления до 2,0 кгс/см² предусмотрена блокировка: закрывается регулирующий клапан поз. №858 на подаче пара в кипятильник 257, регулирующий клапан поз. №8544 на подаче горячей воды в кипятильник 257.

«Углеводородный конденсат из дефлегматора № 258/1 и конденсатора 258а поступают в сборник № 259, где происходит расслоение углеводородов и воды. Из сборника № 259 верхний углеводородный слой насосом № 261 через заборный штуцер высотой 600 мм подается на орошение колонны № 256 в качестве флегмы. Подача флегмы выдерживается в пределах 0÷7% масс. от

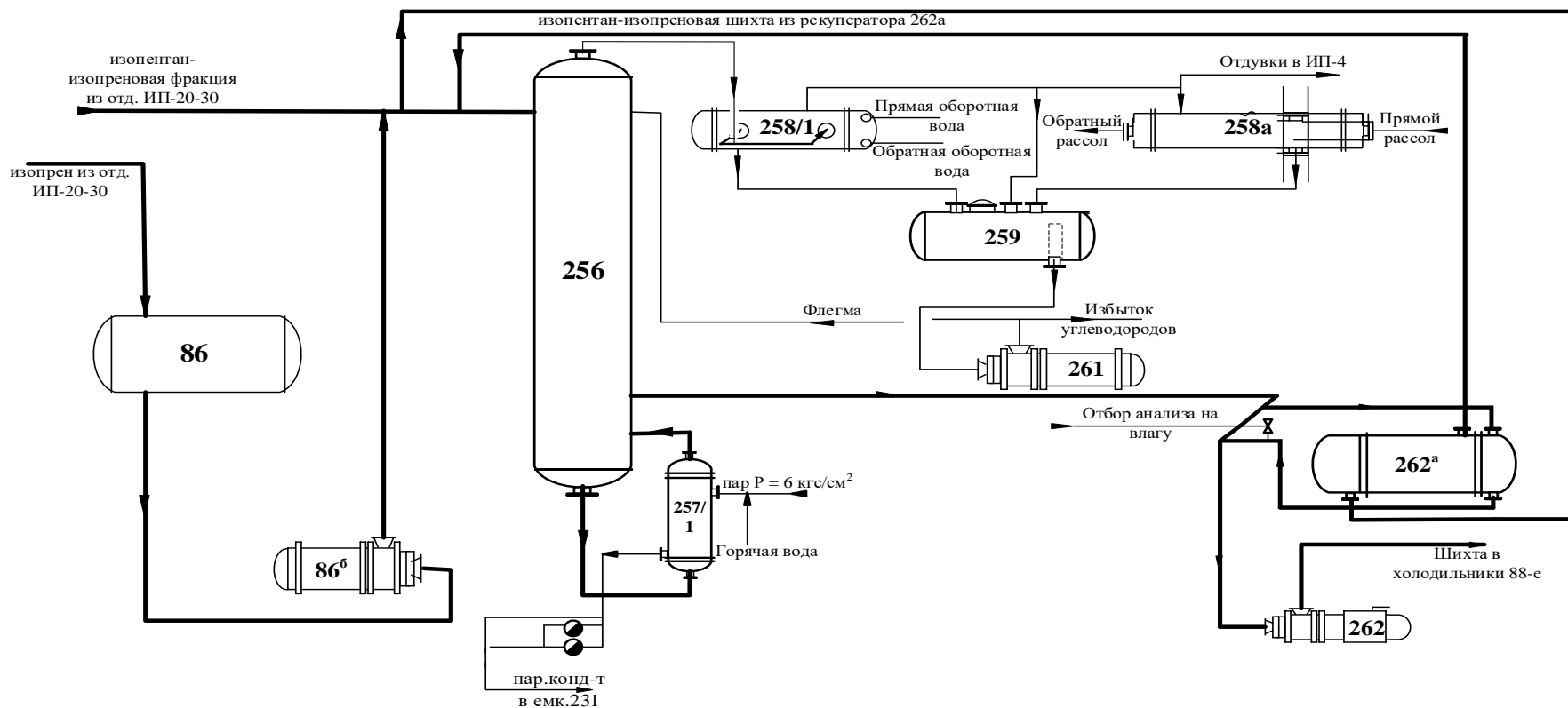
подачи шихты. Клапан установлен на линии нагнетания насоса № 261» [5], [20].

«Флегма, орошая тарелки колонны, образует необходимую для организации барботажа жидкую фазу. На тарелке питания жидкая фаза пополняется исходной смесью. Таким образом, верхняя часть колонны орошается жидкой фазой, образованной флегмой, а нижняя часть – жидкой фазой, образованной совместно флегмой и исходной смесью.

Избыток углеводородов из сборника № 259 выводится насосом № 261 в емкости № 126, 136 установки водно-щелочной отмывки возвратной изопентан-изопреновой фракции. Уровень в сборник № 259 выдерживается регулятором поз. №857.1, клапан которого установлен на линии подачи избытка углеводородов в емкости № 126, №136. Завышение (занижение) уровня до 80 % (20 %) по шкале прибора сигнализируется.

Нижний слой (отстоявшаяся углеводородная вода) из сборника № 259 выводится самотеком в емкость № 123 установки водно-щелочной отмывки возвратной изопентан-изопреновой фракции» [1].

Количество выводимой воды регулируется регулятором поз. №8547, клапан которого установлен на линии вывода в емкость № 123. Предусмотрена регистрация и сигнализация появления уровня раздела фаз в сборнике №259 – 10 % по шкале прибора поз. №857а. Аппараты № 258/I, №259, №258а связаны уравнительной линией. «Осушенная изопентан-изопреновая шихта из куба колонны № 256, пройдя через трубное пространство рекуператора № 262а и отдавая тепло фракции, поступающей в колонну № 256, насосом № 262 подается в пропановые холодильники 88/1-5, в летнее время в рекуператоре 262а есть возможность подачи вместо оборотной воды заоложенной воды» [9]. Для более тонкой очистки изопентан-изопреновой шихты от микропримесей предусмотрена подача 1% раствора ТИБА (триизобутилалюминия) в толуоле дозировочным насосом №108 во всасывающую линию насоса № 262 или насоса № 81. На рисунке 1 представлена принципиальная схема азеотропной осушки шихты.



Е-86 – для приема и хранения изопрена; н-86б – для подачи изопрена на смешение с изопентан-изопреновой фракцией; К-256 – колонна для азеотропной осушки изопентан-изопреновой шихты; т/о-257/1 – для подогрева куба К-256; т/о-258/1 – для конденсации паров азеотропа; т/о-258а – для дополнительной конденсации паров азеотропа; Е-259 – для отстоя воды от углеводородов; н-261 – для откачки избытка углеводородов из Е-259 и подачи флегмы на К-256; т/о-262а – для подогрева шихты перед подачей на питание К-256 и охлаждения шихты перед подачей в т/о-88-е; н-262 – для подачи шихты в т/о-88-е

Рисунок 1 – Принципиальная схема азеотропной осушки шихты

Общий расход шихты в колонну № 256 с учетом шихты из емкости № 80 выдерживается регулятором поз. №8545.

При изменении нагрузки на батареи расход шихты в колонну №256 устанавливается в зависимости от уровня в емкости №80 с изменением расхода изопентан-изопреновой фракции из отделения ИП-20-30 и расхода изопрена от насоса № 86б.

«Уровень в кубе колонны № 256 выдерживается регулятором поз. №859, регулирующие клапаны которого установлены на линии нагнетания насоса № 262. Завышение (занижение) уровня до 80 % (40 %) по шкале прибора сигнализируется» [9].

Диаметры клапанов 80 мм и 100 мм, в работе находится один из клапанов в зависимости от нагрузки на колонну № 256. Для дополнительного контроля за уровнем в кубе колонны № 256 установлен дублер поз. №5161.

При выходе из строя прибора поз. №859, возможно включение прибора поз. №5161 как регулятора уровня в кубе колонны № 256. Осушенная изопентан-изопреновая шихта из куба колонны № 256 анализируется на содержание изопрена с помощью хроматографа поз. №8262 и дублирующего хроматографа, сброс продукта от которого направлен во всасывающую линию насоса № 262, а газовая фаза сбрасывается в аварийную емкость.

Схемой предусмотрено:

- подача шихты, минуя колонну 256;
- возможность вывода теплообменника №262а (по трубному и межтрубному пространствам), №258а на ремонт или чистку.

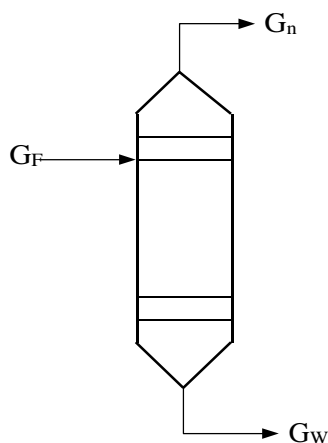
«Для защиты установки азеотропной осушки шихты от завышения давления на аппаратах № 86, №257, №262а, №258/1 установлены предохранительные клапаны, сброс от которых направлен в аварийную емкость.

Сброс от предохранительного клапана, защищающего межтрубное пространство кипятильника № 257, направлен в химзагрязненную канализацию» [16].

3 Расчетная часть

3.1 Материальный баланс колонны 256

Представлена схема (рисунок 2) колонны с указанием материальных потоков.



G_F -исходная смесь, G_n -дистиллят, G_w -кубовый остаток

Рисунок 2 – Схема материальных потоков колонны

Исходные данные:

Производительность установки – 528 000 т/год

Число рабочих дней – 345 дней (8 280 часов)

Часовая производительность – 63768,12 кг/час

Состав фракции представлен в таблице 3.

Таблица 3 – Состав фракции, в % масс

Компонент	% масс.
1	2
Изопрен	16,0
Изопентан	70,8
Изоамилены	12,1
Пентан	0,46
C ₄	0,632
Влага	0,008

Ограничения по влаге в кубе не более 0,0005%.

«Решая систему уравнений 3-8, найдем расход куба, расход дистиллята, так же массовые доли, в %.

$$F_{\text{мас}} \cdot C_{\text{мас}_1} = D_{\text{мас}} \cdot Y_{\text{мас}_1} + R_{\text{мас}} \cdot X_{\text{мас}_1} \quad (3)$$

$$F_{\text{мас}} \cdot C_{\text{мас}_2} = D_{\text{мас}} \cdot Y_{\text{мас}_2} + R_{\text{мас}} \cdot X_{\text{мас}_2} \quad (4)$$

$$F_{\text{мас}} \cdot C_{\text{мас}_3} = D_{\text{мас}} \cdot Y_{\text{мас}_3} + R_{\text{мас}} \cdot X_{\text{мас}_3} \quad (5)$$

$$F_{\text{мас}} \cdot C_{\text{мас}_4} = D_{\text{мас}} \cdot Y_{\text{мас}_4} + R_{\text{мас}} \cdot X_{\text{мас}_4} \quad (6)$$

$$F_{\text{мас}} \cdot C_{\text{мас}_5} = D_{\text{мас}} \cdot Y_{\text{мас}_5} + R_{\text{мас}} \cdot X_{\text{мас}_5} \quad (7)$$

$$F_{\text{мас}} \cdot C_{\text{мас}_6} = D_{\text{мас}} \cdot Y_{\text{мас}_6} + R_{\text{мас}} \cdot X_{\text{мас}_6} \quad (8)$$

где $F_{\text{мас}}$ – расход питания;

$C_{\text{мас}}$ – массовые доли компонентов во фракции, в % масс;

$D_{\text{мас}}$ – расход дистиллята;

$Y_{\text{мас}}$ – массовые доли компонентов в дистилляте, в % масс;

$R_{\text{мас}}$ – расход куба;

$X_{\text{мас}}$ – массовые доли компонентов в кубе, в % масс» [13].

$$R_{\text{мас}} = 1,20 \text{ кг/ч}$$

$$D_{\text{мас}} = 15940,83 \text{ кг/ч}$$

Состав компонентов в кубе приведен в таблице 4, в % масс.

Таблица 4 – Состав компонентов в кубе

Компонент	Содержание, % масс.
1	2
Изопрен	16,0012
Изопентан	70,8053
Изоамилены	12,1009
Пентан	0,4600
C4	0,6320
Влага	0,0005

Состав компонентов в дистилляте приведен в таблице 5, в % масс.

Таблица 5 – Состав компонентов в дистилляте

Компонент	Содержание, % масс.
1	2
Влага	100

Производим перерасчет на сырье, материальный баланс колонны №256 приведен таблице 6.

Таблица 6 – Материальный баланс колоны №256

Статьи прихода	кг/ч	% масс.	т/год	Статьи расхода	кг/ч	% масс.	т/год
1	2	3	4	5	6	7	8
ИИФ:	63768,12	100,0000	528000,00	Дистиллят	4,80	100,0000	39,60
Изопрен	10202,88	16,0000	84480,00	Влага	4,80	100,0000	39,60
Изопентан	45147,84	70,8000	373824,00	Кубовый остаток	63763,32	99,9925	527960,40
Изоамилены	7715,96	12,1000	63888,00	Изопрен	10202,88	16,0012	84480,00
Пентан	293,32	0,4600	2428,80	Изопентан	45147,84	70,8053	373824,00
С4	403,00	0,6320	3336,96	Изоамилены	7715,96	12,1009	63888,00
Влага	5,12	0,0080	42,24	Пентан	293,32	0,4600	2428,80
-	-	-	-	С4	403,00	0,6320	3336,96
-	-	-	-	Влага	0,32	0,0005	2,64
Итого:	63768,12	100,0000	528000,00	Итого:	63768,12	100,0000	528000,00

Количество влаги на выходе значительно уменьшилось для кубового остатка и стало соответствовать ограничению.

3.2 Тепловой баланс конденсатора

«Для расчета количества тепла необходимого для конденсации дистиллята и флегмы находим удельную теплоту конденсации каждой статьи прихода в конденсатор и рассчитываем общую удельную теплоту конденсации смеси по уравнению 9:

$$r_1 = \sum r_i \cdot x_i \quad (9)$$

где r_i – удельная теплота конденсации, кДж/кг;

x_i – концентрация компонента в смеси» [3,27]

Полученные данные сведены в таблицу 7.

Таблица 7 – Тепловой баланс конденсатора

Компонент	G, кг/ч	t, С	r, кДж/кг
Дистиллят	4,80	52	
Влага	4,80	52	2382
Флегма	6376,81	52	
Изопрен	382,61	52	364
Изопентан	5611,59	52	547
Изоамилены	255,07	52	283
Пентан	63,77	52	574
С4	63,77	52	401
Итого	6381,61	-	526

Исходя из полученных данных получаем общее количество тепла, которое необходимо отвести для конденсации, уравнение 10:

$$Q = r_1 \cdot G_1 = 526000 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \cdot 1,77 \text{ кг/с} = 931020 \text{ Вт} \quad (10)$$

3.3 Расчет кожухотрубчатого конденсатора

Исходные данные для расчета:

- расход паров $G_1 = 6381,61 \text{ кг/ч} = 1,77 \text{ кг/с}$;
- тепловая нагрузка аппарата $Q = 931020 \text{ Вт}$;
- температура конденсации $t=52 \text{ }^\circ\text{C}$;
- коэффициент теплопроводности трубы $\lambda_1=0,219 \text{ Вт/(м}\cdot\text{K)}$;
- плотность конденсата $\rho_1= 625 \text{ кг/м}^3$;
- вязкость конденсата $\mu_1= 0,00023 \text{ Па}\cdot\text{с}$;
- температура воды на входе 30°C ;
- температура воды на выходе $46 \text{ }^\circ\text{C}$;
- средняя температура 38°C ;

- плотность воды $\rho_2 = 992 \text{ кг/м}^3$;
- удельная теплоёмкость воды $c_2 = 4180 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$;
- коэффициент теплопроводности воды $\lambda_2 = 0,634 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$;
- вязкость воды $\mu_2 = 0,000657 \text{ Па}\cdot\text{с}$;
- $Pr_2 = c_2 \mu_2 / \lambda_2 = 4,33$;
- диаметр труб $25 \times 2 \text{ мм}$;
- диаметр кожуха 600 мм ;
- число ходов 2 ;
- общее число труб 42 ;
- длина труб 5 м ;

Рассчитаем расход воды по формуле 11

$$G_2 = \frac{Q}{[c_2(t_{2K} - t_{2H})]} = \frac{931020}{[4180(46 - 30)]} = 13,9 \text{ кг/с} \quad (11)$$

Средняя разность температур найдем как среднее арифметическое, так как отношения большей и меньшей разностей температуры не превышает 2:

$$\Delta t_{cp} = \frac{(t_1 - t_{2H}) + (t_1 - t_{1K})}{2} = \frac{(52 - 30) + (52 - 46)}{2} = 14 \text{ }^\circ\text{C} \quad (12)$$

Ориентировочное значение поверхности считаем по формуле 13

$$F_{op} = \frac{Q}{K_{op} \Delta t_{cp}} = \frac{931020}{800 \cdot 14} = 83,1 \text{ м}^2 \quad (13)$$

Определяем соотношение $\frac{n}{z}$ для конденсатора из труб с диаметром $25 \times 2 \text{ мм}$ по формуле 14 для конденсатора при заданном значении числа $Re_2 = 15000$

$$\frac{n}{z} = \frac{4G_2}{\pi d \mu_2 Re_2} = \frac{4 \cdot 13,9}{3,14 \cdot 0,021 \cdot 0,000657 \cdot 15000} = 85,6 \quad (14)$$

Произведем найдём уточненный расчет поверхности теплопередачи.

По табличным значениям наиболее близкое значение $\frac{n}{z}$ принимает конденсатор с диаметром кожуха $D=800$ мм, $d=25 \times 2$ мм, $z=4$, $n=404$:

$$\frac{n}{z} = \frac{404}{4} = 101 \quad (15)$$

Наиболее близкую ориентировочную поверхность теплопередачи имеет аппарат с длиной труб $L=4,0$ м и поверхностью теплообмена $F=127$ м².

Действительное число Re_2 будет рассчитано по формуле 16

$$Re_2 = \frac{4G_2z}{\pi d \mu_2 n} = \frac{4 \cdot 13,9 \cdot 4}{3,14 \cdot 0,021 \cdot 404 \cdot 0,000657} = 12707 \quad (16)$$

Рассчитаем по формуле 17 коэффициент теплоотдачи к воде

$$a_2 = \frac{0,545}{0,021} \cdot 0,023 \cdot 12707^{0,8} \cdot 4,33^{0,4} = 2059 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}) \quad (17)$$

Коэффициент теплоотдачи от пара при вертикально расположенных трубах в соответствии с формулой 18 равен

$$a_1 = 3,78 \cdot 0,219 \cdot \sqrt[3]{\frac{625^2 \cdot 0,025 \cdot 404}{0,00023 \cdot 1,77}} = 1765 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}) \quad (18)$$

«Из формулы 19 сумма термических сопротивлений стенки труб из нержавеющей стали и загрязнений со стороны воды и пара равна:

$$\sum \frac{\delta}{\lambda} = \frac{2 \cdot 10^{-3}}{17,5} + \frac{1}{1860} + \frac{1}{11600} = 0,000738 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}} \quad (19)$$

Коэффициент теплопередачи по формуле 20 будет равен

$$K = \left(\frac{1}{2059} + \frac{1}{1764} + 0,000738 \right)^{-1} = 559 \frac{\text{Вт}}{(\text{м}^2 \cdot \text{К})} \quad (20)$$

По формуле 21 произведём расчёт требуемой поверхности теплопередачи

$$F = \frac{931020}{(14 \cdot 559)} = 119 \text{ м}^2 \quad (21)$$

Из расчётов видно, что конденсатор с длиной труб 4,0 м и поверхностью 127,0 м² подходит с запасом.

Рассчитаем запас по формуле 22:

$$\Delta = (127 - 119) \frac{100}{119} = 6,7 \% \quad (22)$$

Гидравлическое сопротивление Δp_2 рассчитываем по формуле (23).

Скорость воды в трубах рассчитана по формуле 3.21

$$\omega_2 = \frac{4G_2x}{\pi d^2 n \rho_2} = \frac{4 \cdot 13,9 \cdot 4}{\pi \cdot 0,021^2 \cdot 404 \cdot 992} = 0,4 \text{ м/с} \quad (23)$$

Коэффициент трения равен» [3].

$$\lambda = 0,25 \left\{ \lg \left[\frac{0,2 \cdot 10^{-3}}{0,021 \cdot 3,7} + \left(\frac{6,81}{12707} \right)^{0,9} \right] \right\}^{-2} = 0,0418 \quad (24)$$

По формуле 25 рассчитаем скорость воды в штуцерах:

$$\omega_{2ш} = \frac{4G_2}{\pi d_{ш}^2 \rho_2} = \frac{4 \cdot 13,9}{\pi \cdot 0,2^2 \cdot 992} = 0,45 \text{ м/с} \quad (25)$$

Гидравлическое сопротивление согласно формуле 26 равно:

$$\begin{aligned} \Delta p_2 &= 0,0418 \frac{3 \cdot 2}{0,021} \cdot \frac{992 \cdot 0,4^2}{2} & (26) \\ &+ [2,5(2 - 1) + 2 \cdot 2] \frac{992 \cdot 0,4^2}{2} + 3 \frac{992 \cdot 0,45^2}{2} \\ &= 1765 \text{ Па.} \end{aligned}$$

3.4 Тепловой баланс кипятильника

Для расчета количества тепла необходимого для подогрева куба колонны находим удельную теплоту парообразования каждой статьи прихода в колонну по уравнению 27:

$$r_1 = \sum r_i \cdot x_i \quad (27)$$

где r_i – удельная теплота парообразования, кДж/кг;

x_i – концентрация компонента в смеси

Полученные данные сведены в таблицу 8.

Таблица 8 – Тепловой баланс кипятильника

Компонент	G, кг/ч	t, °C	r, кДж/кг
ИИФ:	63768,12	56	
Изопрен	10202,88	56	364
Изопентан	45147,84	56	547
Изоамилены	7715,96	56	283
Пентан	293,32	56	574
C4	403,00	56	401
Влага	5,12	56	2382
Флегма	6376,81	56	
Изопрен	382,61	56	364
Изопентан	5611,59	56	547
Изоамилены	255,07	56	283
Пентан	63,77	56	574
C4	63,77	56	401
Итого	70144,93		488,683

3.5 Расчет кипятильника

Данные имеющегося теплообменника:

- поверхность теплообмена $F = 200 \text{ м}^2$;
- высота труб $H = 2,5 \text{ м}$;
- диаметром кожуха $D = 1400 \text{ мм}$,
- числом ходов 2,
- диаметр трубки 38Х2,
- количеством трубок 713 штук.

Рассчитать и подобрать нормализованный вариант конструкции кожухотрубчатого испарителя ректификационной колонны с получением $G_2 = 70144,93 \text{ кг/ч} = 19,48 \text{ кг/с}$ паров раствора органической жидкости.

Удельная теплота конденсации $r_2 = 488683 \text{ Дж/кг}$ Кипящая при небольшом избыточном давлении и температуре $t_2 = 56 \text{ °C}$ жидкость имеет следующие физико-химические характеристики:

- плотность: $\rho_2 = 625 \text{ кг/м}^3$,
- вязкость конденсации: $\mu_2 = 0,000231 \text{ Па}\cdot\text{с}$,
- коэффициент теплопроводности трубы: $\lambda_2 = 0,219 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$.

В качестве теплоносителя будем использовать насыщенный водяной пар давлением $0,6 \text{ Мпа}$.

Удельная теплота конденсации $r_1 = 2085030 \text{ Дж/кг}$, температура конденсации $t_1 = 158,84 \text{ °C}$. Физико-химические характеристики конденсата при температуре конденсации:

- плотность: $\rho_1 = 943 \text{ кг/м}^3$,
- вязкость конденсации: $\mu_1 = 0,000231 \text{ Па}\cdot\text{с}$,
- коэффициент теплопроводности трубы: $\lambda_1 = 0,686 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$.

Для определения коэффициента теплопередачи от пара, конденсирующегося на наружной поверхности труб высотой H , используем формулу 28:

$$\alpha_1 = 1.21\lambda_1^3 \sqrt{\rho_1^2 r_1 g / (\mu_1 H q)} = Aq^{-1/3} \quad (28)$$

Коэффициент теплоотдачи к кипящей в трубках жидкости определим по формуле 29:

$$\alpha_2 = 780 \frac{\lambda_2^{1.3} \rho_2^{0.5} \rho_n^{0.06} q^{0.6}}{\sigma_2^{0.5} r_2^{0.6} \rho_{n0}^{0.66} \mu_2^{0.3}} = Bq^{0.6} \quad (29)$$

Из основного уравнения теплопередачи и уравнения аддитивности термических сопротивлений следует, что:

$$\frac{1}{K} = \frac{\Delta t_{cp}}{q} = \frac{1}{\alpha_1} + \sum \left(\frac{\delta}{\lambda} \right) + \frac{1}{\alpha_2} \quad (30)$$

Подставляя сюда выражения для α_1 и α_2 , можно получить одно уравнение относительно неизвестного удельного теплового потока:

$$f(q) = \frac{1}{A} q^{4/3} + \left(\sum \frac{\delta}{\lambda} \right) q + \frac{1}{B} q^{0.4} - \Delta t_{cp} = 0 \quad (31)$$

Решив это уравнение относительно q каким-либо численным или графическим методом, можно определить требуемую поверхность по формуле 32:

$$F = \frac{Q}{q} \quad (32)$$

Расчет проводим последовательно в соответствии с общей схемой.

Тепловая нагрузка аппарата:

$$Q = 19.48 \cdot 488683 = 9519544,84 \text{ Вт}$$

Расход греющего пара определим из уравнения теплового баланса:

$$G_1 = \frac{9519544,84}{2085030} = 4,57 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

Средняя разность температур:

$$\Delta t_{\text{cp}} = 158,84 - 56 = 102,84 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Примем ориентировочные табличное значение коэффициента теплопередачи $K_{\text{оп}} = 1400 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$. Тогда ориентировочное значение требуемой поверхности составит:

$$F_{\text{ор}} = \frac{9519544,84}{1400 \cdot 102,84} = 66,12 \text{ м}^2$$

Поверхность, близкую к ориентировочной, могут иметь теплообменники:

- с высотой труб $H = 2,0 \text{ м}$;
- диаметром кожуха $D = 800 \text{ мм}$,
- числом ходов 1,
- диаметр трубки 25×2 ,
- количеством трубок 465 штук.
- поверхность теплопередачи 73 м^2

Для первого приближения возьмем ориентировочное значение удельной тепловой нагрузки по формуле 33:

$$q_1 = q_{\text{ор}} = \frac{9519544,84}{73} = 130404,7 \text{ Вт}/\text{м}^2 \quad (33)$$

Для определения $f(q_1)$ находим коэффициенты А и В по уравнениям 34-35:

$$A = 1,21 \cdot 0,686 \sqrt[3]{\frac{943^2 \cdot 2085030 \cdot 9,81}{0,000231 \cdot 2,0}} = 2,824 \cdot 10^5 \quad (34)$$

$$B = 780 \frac{0,219^{1,3} \cdot 625^{0,5} \cdot 0,6515^{0,6}}{0,0583^{0,5} \cdot 488683^{0,6} \cdot 0,65^{0,66} \cdot 4180^{0,3} \cdot 0,000231^{0,3}} = 4,50 \quad (35)$$

При толщине труб 2,0 мм, материале – нержавеющей стали - $\lambda_{ст}=17,5$ Вт/(м·К). Сумма теоретических сопротивлений стенки и загрязнений по формуле 36 равна:

$$\sum \frac{\delta}{\lambda} = \frac{2 \cdot 10^{-3}}{17,5} + \frac{1}{5800} = 0,000287 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт} \quad (36)$$

Из полученных значений имеем:

$$\begin{aligned} f(q_1) &= \frac{130404,7^{4/3}}{2,824 \cdot 10^5} + 0,000287 \cdot 130404,7 + \frac{130404,7^{0,4}}{4,50} - 102,84 \\ &= -17,26 \end{aligned}$$

Примем второе значение $q_2=30000$ Вт/м², тогда:

$$f(q_2) = \frac{30000^{4/3}}{2,824 \cdot 10^5} + 0,000287 \cdot 30000 + \frac{30000^{0,4}}{4,50} - 102,84 = -77,19$$

Третье уточнение q_3 определим как уравнение 37:

$$\begin{aligned} q_3 &= q_2 - \frac{q_2 - q_1}{f(q_2) - f(q_1)} f(q_2) \quad (37) \\ q_3 &= 30000 - \frac{30000 - 130404,7}{-77,19 - (-17,26)} (-77,19) = 159317,6 \\ f(q_3) &= \frac{159317,6^{4/3}}{2,824 \cdot 10^5} + 0,000287 \cdot 159317,6 + \frac{159317,6^{0,4}}{4,50} - 102,84 = 0,27 \end{aligned}$$

Такую точность можно считать достаточной и значение $q = 159317,6$ можно считать истинным. Тогда требуемая поверхность составит:

$$F = \frac{9519544,84}{159317,6} = 59,75$$

При выбранном теплообменнике запас поверхности:

$$\Delta = \frac{73,0 - 59,75}{59,75} \cdot 100 = 22,2 \%$$

Масса аппарата 2280 кг.

Удельные тепловые нагрузки в рассчитанном аппарате значительно ниже критической тепловой нагрузки, которая даже в случае кипения жидкости в большом объеме составит:

$$q_{кр} = 0,14 \cdot 488683 \cdot \sqrt{0,6515} \cdot \sqrt[4]{9,81 \cdot 0,0583 \cdot 625} = 240215,9 \text{ Вт/м}^2$$

Следовательно, режим кипения в аппарате будет пузырьковым. Коэффициенты теплоотдачи и теплопередачи в аппарате по формулам 38-40 соответственно равны:

$$\alpha_1 = Aq^{-1/3} = 2,824 \cdot 10^5 \cdot 159317,6^{-1/3} = 5209 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)} \quad (38)$$

$$\alpha_2 = Bq^{0,6} = 4,50 \cdot 159317,6^{0,6} = 5951 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)} \quad (39)$$

$$K = \frac{q}{\Delta t_{cp}} = \frac{159317,6}{102,84} = 1549 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)} \quad (40)$$

По сколько, в результате расчетов поверхность кипятильника имеет меньшую площадь, можно сделать вывод о том, что замена имеющегося испарителя приведет к ряду преимуществ, таких как уменьшение энерго-

затрат процесса подогрева и повышение эффективности процесса сушки в целом.

Выводы по разделу: в ходе расчетов показано, что наиболее эффективным является использование конденсатора с площадью поверхности 127 м^2 , при запасе $6,7 \%$.

В таком случае конденсация должна идти с большей эффективностью, чем с действующими параметрами оборудования на предприятии.

Таким же образом, использование меньшей площади теплообмена ($73,0 \text{ м}^2$ с запасом $22,2\%$) в кипятильнике является преимуществом, поскольку уменьшение площади приведет к снижению энергозатрат на процесс.

Обе модернизации в целом сильно влияют на процесс азеотропной сушки, что увеличивает производительность данного узла.

Заключение

В производстве изопренового каучука ключевой стадией является азеотропная осушка. В связи с тем, что в процессе осушки наличие лишней влаги в шихте негативно влияет на продукт производства снижая его качество был произведён поиск решения данной проблемы. Были описаны процессы, происходящие в установке азеотропной осушки, и как они влияют на качество продукции.

Кипятильник и конденсатор играют важную роль в этом процессе, обеспечивая испарение воды и ее отделение от шихты. Было принято решения заменить их для повышения эффективности производства.

Модернизация установки путем замены устаревшего кипятильника и конденсатора на более современное оборудование предлагает ряд преимуществ.

Это позволит повысить эффективность процесса осушки, сократить время и энергозатраты.

Модернизация способствует улучшению качества продукта, более эффективному удалению влаги и предотвращению образования примесей.

Замена на более современное оборудование обеспечивает более надежную и безопасную работу процесса.

Наконец, оно соответствует требованиям экологической безопасности, снижает негативное воздействие на окружающую среду и способствует экологической устойчивости предприятия.

Это способствует развитию производства и повышению конкурентоспособности предприятия в отрасли производства изопренового каучука.

Таким образом, в ходе проведения данной работы удалось увеличить производительность азеотропной установки осушки изопентан-изопреновой шихты и улучшить производимой продукции, уменьшив количество влаги в шихте.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Борисов Г.С., Брыков В.П., Дытнерский Ю.И. Основные процессы и аппараты химической технологии. 2018.26,27,57,58 с.
2. Гладышева И.В. Химия.Лекция.2017.С .40– 44.
3. Дытнерский Ю.И. Основные процессы и аппараты химической технологии. 2018. 75, 76, 76с
4. Елфимов, В.В. Юленец Ю.П., Марков А.В., Аветисян А.Р.,Елфимов П.В. Математическая модель процесса полимеризации изопрена в массе//Каучук и Резина. 2018. № 4. С.38-41.
5. Инструкция №21 узла азеотропной осушки и ректификации от тяжелых углеводородов возвратной фракции. – Тольятти: ООО «Тольяттикаучук», 2018. 12, 62, 86 с.
6. Инструкция №21 узла азеотропной осушки и ректификации от тяжелых углеводородов возвратной фракции. ООО «Тольяттикаучук», 2020. – 10 с.
7. Кирпичников П. А., Береснев В. В., Попова Л. М. Альбом технологических схем основных производств промышленности синтетического каучука: учебное пособие для вузов. – Л.: Химия, 2018.224 с.
8. Пономарева Н.Н., Остапенко Г.И, Глухов П.А., Орлов Ю.Н. Учебно-методическое пособие. 2018. 84, 86, 87с.
9. Постоянный технологический регламент производства СКИ-3 цеха ИП-5 ООО «Тольяттикаучук». 2019.
10. Патент SU 1024453 А1 РФ. Способ автоматического управления процессом приготовления полимеризационной шихты в производстве изопренового каучука // Галкин В.И., Болдырев А.П., Поплавский В.Ф., Габбасов Р.К., Осовский Е.Л.(РФ)
11. Патент SU 1134569 А1 РФ. Способ управления процессом приготовления шихты в производстве изопренового каучука // Поплавский

В.Ф., Габбасов Р.К., Киселев О.А., Кукарцев Е.М., Абросимов Г.М., Максимов М.Н., Майзлах И.А.(РФ)

12. Патент SU 1199758 А1 РФ. Способ автоматического управления процессом получения синтетического каучука // Поплавский В.Ф., Карелин С.А., Галкин В.И., Киселев О.А., Эстрин А.С., Кукарцев Е.М., Абросимов Г.М., Максимов М.Н., Шухин А.П.(РФ)

13. Расчет ректификационных колонн установок перегонки нефти: учебно-методическое пособие / А.А. Гречухина, А.А. Елпидинский, Р.Р. Мингазов, С.Е. Плохова. М-во образ. и науки России, Казан. нац. исслед. технол. ун-т. – Казань: Изд-во КНИТУ, 2018. – 99 с.

14. ТУ 0272-043-48158319-2007 – Изопентан-растворитель.

15. ТУ 2411-005-48/158319-2010 – Изопрен.

16. ТУ 2294-037-48158319-2010 – Каучук синтетический цис-изопреновый.

17. Щербань Г.Т. Способ получения изопренового каучука. 2019.52с. URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU2071964C1_19970120 (дата обращения 06.05.2023)

18. Дмитриев Е.А., Комляшев Р.Б. Аппаратуры процессов разделения гомогенных и гетерогенных систем.2018. С.32-34. URL: <https://studfile.net/preview/6658339/page:6/> (дата обращения 16.05.2023)

19. Синтетические изопреновые каучук URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Синтетические_изопреновые_каучуки (дата обращения 10.04.2023)

20. Ивашкина В.Т., Лапина Т.Л. Газожидкостная хроматография.2018.С.40-43. URL:https://meduniver.com/Medical/toksikologia/metodi_toksikologicheskogo_sk_rininga.html

21. Официальный сайт ООО «Тольяттикаучук».URL: <http://togliatti.tatneft.ru/> (дата обращения 15.04.2023).

22. Студенческая библиотека онлайн. URL: https://studbooks.net/2287835/matematika_himiya_fizika/fiziko_himicheskie_harakteristiki_izoprena (дата обращения 26.04.2023)
23. Способ автоматического управления процессом приготовления полимеризационной шихты в производстве изопренового каучука URL: <https://findpatent.ru/patent/102/1024453.html> (дата обращения 13.04.2023)
24. Изопреновые каучуки синтетические URL: <https://himya.ru/izoprenovye-kauchuki-sinteticheskie.html> (дата обращения 09.04.2022)
25. Технология получения синтетических каучуков URL: https://knowledge.allbest.ru/manufacture/2c0a65635a2bc68a5d43a89421206d37_0.html (дата обращения 22.03.2023)
26. Формула синтетического изопренового каучука URL: <https://moy-instrument.ru/masteru/formula-sinteticheskogo-izoprenovogo-kauchuka.html> (дата обращения 09.04.2023)
27. Distillation Column Selection, Sizing and Troubleshooting, Kolmetz Handbook of Process Equipment Design Article · June 2018
28. Chang C.C., Halasa A.F., Miller J.W. The reaction engineering of the anionic polymerization of isoprene//J. Appl. Polym. Sci.-2020.-V. 47, N. 9.-pp.1589-1599.
29. Mingaleev V.Z., Zakharov V.P., Monakov Yu.B., Rus. J. App.Chem., 80, 7, 1130-1134 2007.2019.207с.
30. Maurice Morton. Rubber Technology. New York, 2018.594 с.
31. Karet Sintetis. URL: <https://www.industrikaret.com/karet-sintetis.html> (дата обращения 06.05.2023)