

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

ИНСТИТУТ ХИМИИ И ИНЖЕНЕРНОЙ ЭКОЛОГИИ
Кафедра «Рациональное природопользование и ресурсосбережение»

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой «РПиР»

_____ М.В.Кравцова

(подпись)

(И.О. Фамилия)

« ____ » _____ 20 ____ г.

ЗАДАНИЕ
на бакалаврскую работу

Студент: Руфеев Александр Сергеевич

1. Тема: «Совершенствование конструкции мешалки для дегазации каучука»
2. Срок сдачи студентом законченной выпускной квалификационной работы
04.06.2016
3. Исходные данные к выпускной квалификационной работе: материалы заводской документации, технологии производства предприятия, учебники по тематике
4. Содержание выпускной квалификационной работы:
 - Обзор технологии производства каучука и конструкции оборудования дегазации
 - Совершенствование технологии дегазации каучука

Руководитель бакалаврской работы

З. А. Шамугия

(подпись)

(И.О. Фамилия)

Задание принял к исполнению

А. С. Руфеев

(подпись)

(И.О. Фамилия)

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Тольяттинский государственный университет»

ИНСТИТУТ ХИМИИ И ИНЖЕНЕРНОЙ ЭКОЛОГИИ

Кафедра «Рациональное природопользование и ресурсосбережение»

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой «РПиР»

_____ М.В.Кравцова

(подпись) (И.О. Фамилия)

«_____» _____ 20__ г.

**КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН
бакалаврской работы**

Студента: Руфеев Александр Сергеевич

по теме: «Совершенствование конструкции мешалки для дегазации каучука»

Наименование раздела работы	Плановый срок выполнения раздела	Фактический срок выполнения раздела	Отметка о выполнении	Подпись руководителя
Введение	15.05.2016			
Обзор технологии производства каучука и конструкции оборудования дегазации	17.05.2016			
Технология дегазации полимеризата при производстве изопренового каучука	20.05.2016			
Заключение	02.06.2016			

Руководитель бакалаврской работы

З. А. Шамугия

(подпись)

(И.О. Фамилия)

Задание принял к исполнению

А. С. Руфеев

(подпись)

(И.О. Фамилия)

АННОТАЦИЯ

Бакалаврскую работу выполнил: А. С. Руфеев

Тема работы: «Совершенствование конструкции мешалки для дегазации каучука».

Научный руководитель: З. А. Шамугия

Эта работа посвящена разработке эффективной технологии водной дегазации каучука с регулированием концентрации и вязкости полимеризата в течение всего технологического цикла и совершенствования конструкции мешалки.

Данная работа состоит из: пояснительной записки объемом 62 страниц машинописного текста формата А-4 и графической части из 5 листов формата А-1, введения, аннотации и заключения. Во введении обоснована актуальность предлагаемой темы проекта, рассмотрены общие направления и тенденции развития технологического процесса производства каучука, особое внимание уделяется процессу дегазации, сформирована цель диплома. Проведен подробный анализ общего техпроцесса производства изопренового каучука, подробно рассмотрен процесс дегазации, технологические приемы, преимущества и недостатки, сформулированы задачи на дипломную работу.

Для предлагаемого технологического процесса дегазации изопренового каучука, описана схема дегазации, введены новые этапы, которые позволяют улучшить процесс удаления газа из каучука. Подобрано оборудование для реализации технологии и предложена усовершенствованная конструкция мешалки и подачи барботажного пара. Данная технология предлагается использоваться в ОАО «Тольяттикаучук».

Рассмотрены вредные факторы производства, проведен анализ экологической безопасности, и предложены мероприятия по их устранению.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	7
ГЛАВА 1. ОБЗОР ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА КАУЧУКА И КОНСТРУКЦИИ ОБОРУДОВАНИЯ ДЕГАЗАЦИИ	9
1.1 Особенности свойств и назначение каучуков	9
1.2 Основные свойства каучуков общего назначения	9
1.2.1 Технологические основы производства изопренового каучука	11
1.3 Процесс приготовления каталитического комплекса	13
1.4 Технологический процесс производства изопренового каучука	18
1.4.1 Характеристика сырья для производства каучука	18
1.5 Технологические особенности дегазации и способы повышения эффективности	22
ГЛАВА 2. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЕГАЗАЦИИ КАУЧУКА	28
2.1 Технология дегазации полимеризата при производстве изопренового каучука	28
2.2 Расчет материального баланса процесса дегазации	33
2.3 Энергетический баланс процесса дегазации	35
2.4. Расчет эффективности технологии дегазации	38
2.4.1 Расчет годовой производительности (годовую программу):	39
2.4.2. Расчет капитальных вложений	39
2.4.3. Расходы на сборку и монтаж	39
2.4.4. Расходы на демонтаж:	40
2.5. Организация труда рабочих	40
2.5.1 Режим работы установки и график сменности	40
2.5.2 Баланс рабочего времени одного рабочего	41
2.5.3 Расчет штата рабочих	42
2.5.4 Расчет заработной платы персоналу:	43
2.5.5 Оплата по тарифу	44

2.5.6 Расчет премии согласно вкладу в производство	44
2.5.7 Расчет доплат за выполнение дополнительных работ	45
2.5.8 Основной фонд заработной платы	45
2.5.9 Оплата дней отпуска	46
2.5.10 Годовой фонд заработной платы	46
2.5.11 Отчисления на социальное страхование.....	47
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	48
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	49
ПРИЛОЖЕНИЕ (графическая часть)	54

ВВЕДЕНИЕ

Основным методом получения каучука в химической промышленности является синтез, путем полимеризации мономеров с кратными связями, поликонденсацией полифункциональных соединений и химической модификацией высокомолекулярных соединений. В настоящий момент развиваются новые направления получения каучуков со специальными свойствами. Полимеризация каучуков в растворе является одним из таких направлений, при котором осуществляется отгонка мономера и растворителя.

Процесс проводят двумя способами: безводной дегазацией, когда нагрев полимеризата осуществляется через поверхности теплообмена без непосредственного контакта полимеризата с горячим теплоносителем и водной дегазацией, когда нагрев раствора каучука с целью отгонки мономера и растворителя производится путем смешения полимеризата с горячей водой. Во всех технологиях получения синтетического каучука высокого качества, важнейшее место занимает процесс дегазации являющийся достаточно сложным и трудоемким. В связи с этим -тема дипломного проекта является актуальной.

В процессе производства каучуков во многих технологических процессах в основном применяют водную дегазацию, которая осуществляется путем диспергирования полимеризата в горячей воде. В результате, после отгонки растворителя и мономера из капель полимеризата образуются пористые частицы каучука (крошка), которая отделяется от воды и подается на дальнейшую переработку. К воде тепловая энергия подводится с помощью пара, который барботирует через водную дисперсию крошки каучука.

Для дегазации практически всех каучуков применяется водная дегазация. Данный процесс проводят в одну или две ступени непрерывно. В этом случае для предотвращения слипания крошки каучука с полимеризатом

в дегазаторе вводят специальный антиагломератор. Дегазацию осуществляют в противотоке острого водяного пара и дегазируемой крошки каучука в виде дисперсии ее в воде, от чего главным образом зависит качество получаемого каучука.

В настоящее время разработаны множество конструктивных решений специального оборудования для проведения водной дегазации, которые в зависимости от технологических особенностей процесса дегазации, могут иметь различные схемы и конструкции. Для водной дегазации в основном используются емкостные дегазаторы с мешалкой. Чтобы повысить качество и снизить себестоимость, продолжается усовершенствование технологии производства каучука, в том числе процесс дегазации. Что требует усовершенствование конструкций и параметров емкостных дегазаторов.

Следовательно, целью работы является, снижение себестоимости и повышение качества производства синтетического каучука посредством усовершенствования технологии дегазации и конструкции дегазатора.

ГЛАВА 1. ОБЗОР ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА КАУЧУКА И КОНСТРУКЦИИ ОБОРУДОВАНИЯ ДЕГАЗАЦИИ

1.1 Особенности свойств и назначение каучуков

Каучуки, производимые в настоящее время по свойствам и назначению разделяют на две группы: Каучуки общего и специального назначения. Синтетические каучуки по свойствам практически не уступают натуральным, а по некоторым свойствам даже превосходят [3].

Каучуки общего назначения в основном применяют для изготовления изделий, где необходимо главным образом его природное свойство резины. Когда вместе со свойством резины требуется придания изделию других специфических свойств (износостойкость, стойкость при работе повышенных и низких температур и др.), тогда применяют каучуки специального назначения. Однако в основном выпускают каучуки, которые обладают комбинированными свойствами.

В настоящей работе рассматривается в основном технологии производства каучуков общего назначения. Поскольку область применения определяет требуемые свойства синтетических каучуков, то рецептура и компоненты позволяют получать каучуки с заданными свойствами.

1.2 Основные свойства каучуков общего назначения

Бутадиен-стирольный каучук. Бутадиен-стирольный каучук считается одним из лучших каучуком из каучуков общего назначения, где удачно сочетаются различные свойства (высокая износостойкость, прочность и др.). Бутадиен-стирольные каучуки обладают в сравнении с натуральным каучуком, более высокой температурой процесса стеклования, что придает ему стойкость к высокой температурной нагрузке. Так же преимуществом бутадиен-стирольных каучуков является высокая стойкость к трещинам и

газо-водопроницаемость, сопротивление тепловому и световому старению [6].

Полибутадиеновый каучук. Каучук достаточно легко вулканизуется из-за низкой насыщенности. Полибутадиеновый каучук обладает хорошей стойкостью к низким температурам и износостойкостью. Однако, при этом низкой прочностью на растяжение. Недостатком можно считать неудовлетворительную технологическую переработку, а также достаточно высокую себестоимость. Но при этом, он не обладает высокой прочностью при растяжении и обычно наполняется упрочняющими добавками. Поэтому, обычно в процессе производства резинотехнических изделий перемешивают с натуральным или бутадиен-стирольным каучуком.

Бутилкаучук. Свойство бутилкаучука прекрасно удерживать воздух, делает его незаменимым для производства шин разного назначения, камер других изделий. Каучук имеет хорошую стойкость к полярным растворителям, водным растворам кислот и окислению, хорошей стойкостью к животному и растительному маслу, но низкую стойкость к воздействию минеральных масел.

К недостаткам бутилкаучука относятся: низкая скорость вулканизации, неудовлетворительная адгезия к металлам, низкая совместимость с некоторыми реагентами, невысокая эластичность при небольших температурах, высокое тепловыделение при многократных деформациях. Для устранения некоторых недостатков, применяют разные технологические приемы (ввод в небольшом количестве галогенов, макромолекул) [6].

Этиленпропиленовые каучуки. Этиленпропиленовые каучуки относятся к наиболее легким каучукам (плотность 0,86). Эти каучуки не содержат двойных связей в молекуле, они практически бесцветные, обладают высокой стойкостью к воздействию тепла, света, кислорода и озона. Для насыщенных каучуков применяется перекисная вулканизация. К каучукам,

которые частично содержат ненасыщенные связи, можно применить вулканизацию с серой.

Устойчивость данных каучуков к теплу и старению значительно лучше, сравнительно с бутадиен-стирольным или и натуральным. Резиновые изделия обладают высокой стойкостью к неорганическим и высокополярным жидкостям (кислоты, щелочи и спирты). Однако, имеют низкую стойкость к алифатическим, ароматическим или хлорсодержащим углеводородам.

Этилен-пропиленовые каучуки для придания заданных свойств наполняют различными наполнителями например, сажа, придает хорошие механические свойства. К недостаткам каучуков данного типа относятся: низкая стойкость к воздействию масла и плохая совместимость с другими каучуками [3,15].

Изопреновый и полиизопреновый каучуки. Синтетические каучуки данных марок достаточно легкие (плотность примерно 0,90). Несмотря на химическую идентичность с натуральным каучуком, эти каучуки имеют небольшие различия с преимуществами и недостатками по сравнению с натуральным каучуком. В то время как натуральный каучук не очень однородный в цвете, вязкости и чистоте, синтетический изопрен и полиизопрен более однородные, легки в переработке, светлее в цвете и более чистые. Но имеют несколько худшие характеристики в прочности сырого полимера (эта характеристика особенно важна при изготовлении шин) и в модуле. Каучуки обладают более высоким удлинением, чем натуральный каучук [4,5].

1.2.1 Технологические основы производства изопренового каучука

Основными стадиями производства каучука являются: 1) подготовка катализатора (смесь компонентов каталитического комплекса); 2) процесс полимеризации; 3) дезактивация катализатора с последующей отмыванием раствора полимера от продуктов дезактивации катализатора; 4) дегазация (отгонка мономера и растворителей) и выделение каучука; 5) регенерация возвратных продуктов и очистка сточных вод.

Для полимеризации изопренового каучука обычно применяют титановую каталитическую систему, которая состоит из хлорида титана и алюминийорганического соединения. Получаемый на таких катализаторах каучук имеет марку СКИ-3.

Титановые каталитические комплексы получают на основе TiCl_4 и алюминийорганических соединений, из которых наиболее эффективны триизобутил, трифенил и др.. В промышленности регулярно применяют триизобутилалюминий (ТИБА), который позволяет проводить процесс полимеризации с высокой воспроизводимостью каучука. Кроме того, в данном катализаторе процесс наиболее безопасен [2].

Оптимальное соотношение компонентов каталитического комплекса 1:1 (рисунок 1.1) [2]. Избыток триизобутилалюминия приводит к более глубокому восстановлению Ti^{4+} (практически до элементарного Ti), что может привести к замедлению полимеризации и образованию низкомолекулярных продуктов. А избыток тетрахлорида титана приводит к образованию алкилалюминийдихлорида, что является причиной циклизации, изомеризации и сшиванию. В результате чего получаются жесткие полимеры.

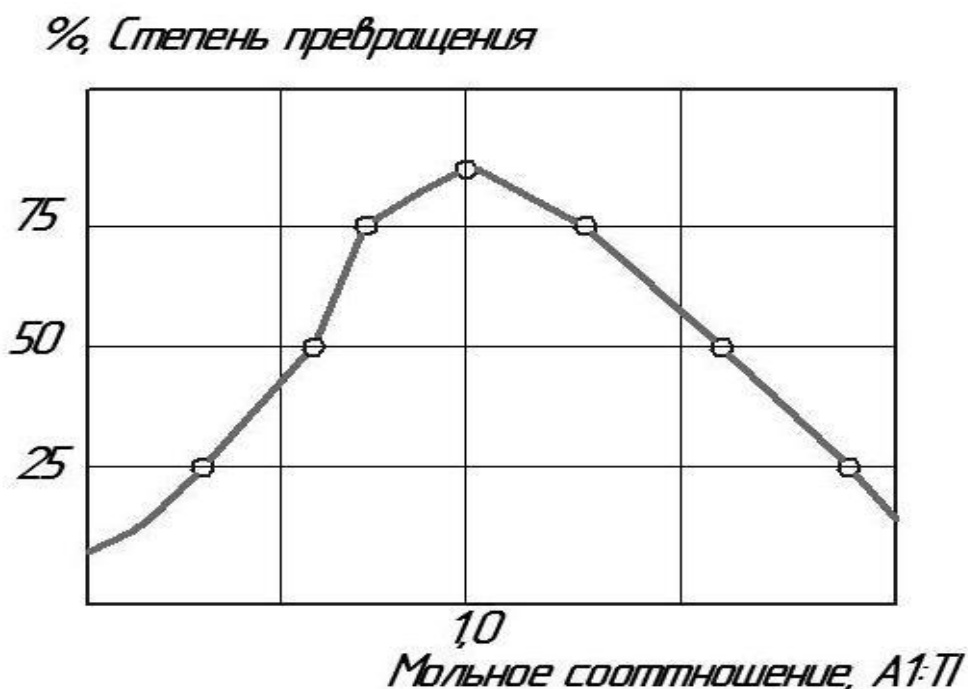


Рисунок 1.1 — Влияние состава катализатора на степень превращения изопрена

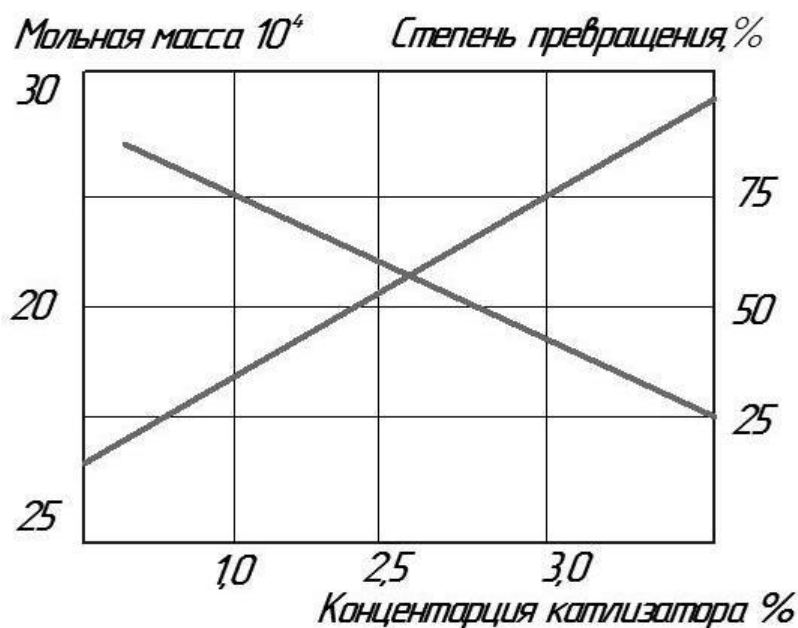


Рисунок 1.2 — Влияние концентрации катализатора на скорость

С увеличением концентрации катализатора, заметно возрастает скорость полимеризации, однако приводит к уменьшению молекулярной массы полимера (рисунок 1.2).

1.3 Процесс приготовления каталитического комплекса

В промышленных процессах концентрация каталитического комплекса составляет примерно $1 \pm 0,5$ % по массе в расчете на мономер.

В процессе приготовления катализатора важное значение имеет порядок введения компонентов. Например, если алюминийорганическое соединение вводится в раствор TiCl_4 , тогда часть тетрахлорида титана остается непревращенной, и в процессе полимеризации вместе с анионно-координационным механизмом реализуется и катионная полимеризация изопрена. В этом случае возможны процессы трансизомеризации, циклизации макромолекул под действием TiCl_4 . А при введении компонентов в обратном порядке, произойдет интенсивное восстановление титана, что приведет к снижению активности катализатора в целом. Отсюда очевидно, что лучше производить одновременную дозировку компонентов

катализатора [1,8]. В процессе приготовления катализатора в качестве растворителя в основном используют толуол или другие ароматические углеводороды, которые образуют донорно-акцепторные комплексы. Это повышает активность катализатора и способствует снижению содержания геля в полимере.

Повышению активности катализатора способствует также введение электронодонорных модифицирующих добавок: аминов, эфиров, спиртов, фенолов и др. Наиболее распространен модификатор типа дифениловый эфир или его смесь с бифенилом (в соотношении 71:29), который более известный как дифил или даутерм. Такие катализаторы более активны, их дозировки можно значительно уменьшить в несколько раз, чем для двухкомпонентных систем. Механизм действия модификаторов связан с двумя факторами [4]:

1. Добавка электронодонора способствует переводу триизобутилалюминия из менее активной, в мономерную форму, что приводит к образованию комплекса с электронодонором.

2. Введение электронодонора, способного образовывать комплексы со свободными d^2 sp^3 -орбитами титана, что способствует активации катализатора.

Оптимальным соотношением компонентов в модифицированном каталитическом комплексе (триизобутилалюминий/дифенилоксид/тетрахлорид титана) является 0,9:0,9:1. При таком соотношении в каучуке содержится около 3 % олигомеров и 10 % рыхлого геля. Синтез такого каучука представляет значительный интерес, поскольку в этом случае повышается однородность каучука по свойствам, также появляется возможность формирования более совершенной вулканизационной сетки.

Получение такого каучука возможно, если использовать лантаноидо содержащие каталитические системы. В данном случае появляется необходимость увеличения соотношений, поскольку при увеличении этого соотношения в интервале 4... 20 возрастает скорость полимеризации. При

этом наблюдается снижение молекулярной массы полиизопрена (рисунок 2 а), поскольку триалкилалюминий оказывает регулирующее воздействие.

Полимеры, которые образуются на этих катализаторах, содержат до 98% звеньев, и практически все молекулы мономера присоединяются к другу по типу «начала-конец». Причем содержание звеньев зависит от природы лантаноида и симбатно изменяется с температурой полимеризации (рисунок 2б). Лантаноидные катализаторы пока мало используются в промышленном производстве изопреновых каучуков.

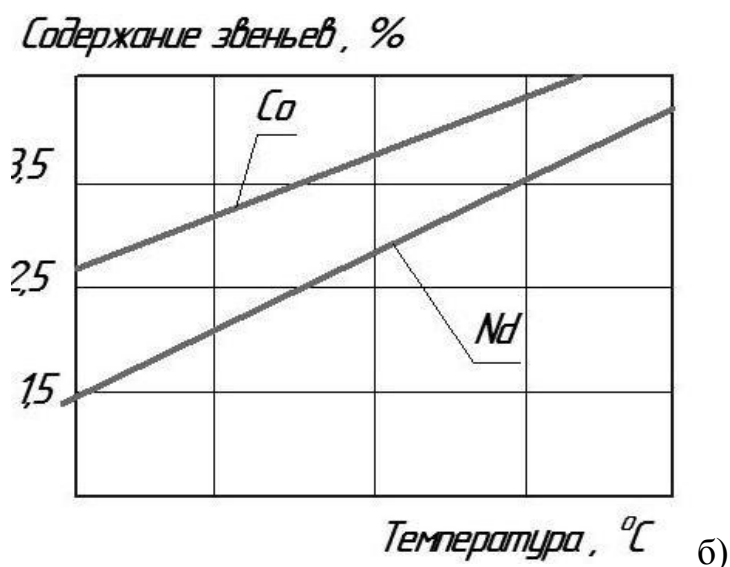
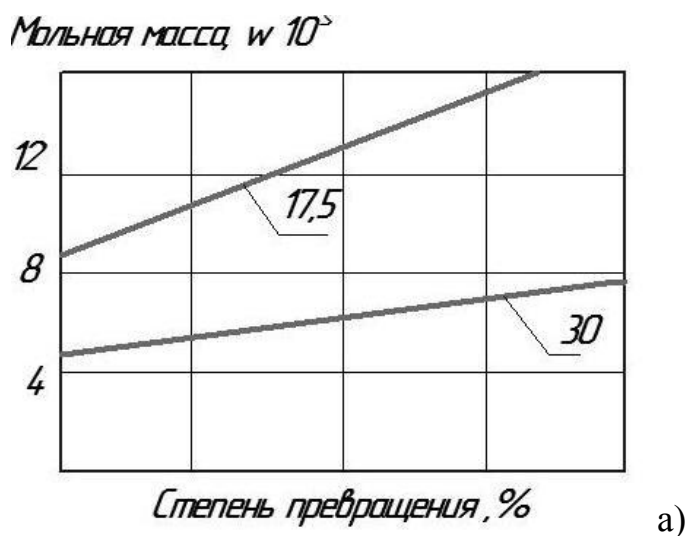


Рисунок 2 — а) Зависимость молярной массы полиизопрена от степени превращения при различных соотношениях Al:Ln; б) Влияние

температуры на структуру полиизопрена при различных лантаноидных в катализаторе

Получение катализатора в промышленной технологии практически самостоятельная стадия. Поскольку, если катализатор получают непосредственно в полимеризаторе, то полимеризация протекает с низкой скоростью (рисунок 3). Кроме того, каучук, получаемый этим методом, содержит олигомеры и гель [1].

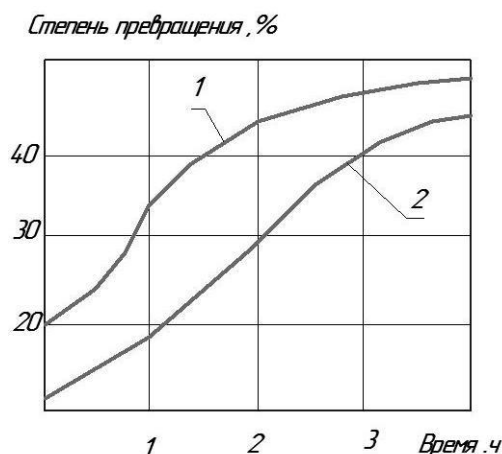


Рисунок 3 — Кинетика полимеризации изопрена с катализаторами типа ТИБА: 1-предварительно приготовленного; 2-приготовленного в полимеризаторе

При получении каталитического комплекса необходимо интенсивное перемешивание, как для отвода теплоты, так и для формирования мелкодисперсного катализатора. При понижении температуры получения каталитического комплекса, возрастает его активность. Например, изменение температуры от 30 до 40 °С позволяет ускорить полимеризацию в 2 раза и одновременно снизить дозировку катализатора в 2,5 раза. При еще более низкой температуре приготовления каталитического комплекса (70°С), кроме снижения расходных коэффициентов катализатора и интенсификации полимеризации, существенно уменьшается содержание геля в каучуке.

К компонентам катализатора предъявляют серьезные требования по чистоте, а при наличии примесей принимают меры для снижения их влияния.

Например, если в TiCl_4 присутствуют примеси типа TiOCl_2 , HCl и др., то его подвергают ректификации в колонне с медной насадкой. Например, приведем содержание примесей в тетрахлориде титана до (I) и после (II) перегонки в присутствии меди, % (масс.):

III

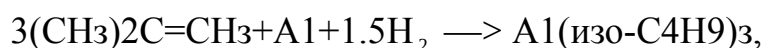
TiOCl_2 0,65 0,08

HCl 0,05 0,01...0,02

COi 0,03 Следы

SOCl_2 0,001 Следы

В составе триизобутилалюминия, синтезируемого по реакции



могут быть примеси: изобутилен, диизобутилалюминийгидрид, диизобутилалюминийхлорид, и др. Изобутилен практически не влияет на полимеризацию и свойства полимера, а суммарное содержание примесей, не должно превышать 1,0 % от общей массы получаемого продукта.

Полимеризация изопрена может осуществляться в различных алифатических и ароматических углеводородах, хорошо растворяющих образующийся каучук.

Скорость полимеризации в большинстве случаев идентична скорости растворения полимера в растворителе. При невысокой скорости полимер обволакивает активные центры катализатора и замедляет полимеризацию. Наибольшая скорость при использовании бензола или изопентана. Широкое применение получил изопентан, из-за сравнительно невысокой вязкости полимеризата, возможности получения высокомолекулярного полимера за весь период процесса полимеризации, а также низкой температуры кипения.

Процесс приготовления катализатора требует интенсивного перемешивания для отвода тепла и получения мелкодисперсного катализатора. При низкой температуре активность катализатора возрастает, что существенно ускоряет процесс полимеризации (например снижение температуры от 30 до -40°C повышает скорость полимеризации в 2 раза).

Кроме того при низкой температуре значительно снижается содержание геля в каучуке. Полимеризация изопрена в изопентане осуществляется непрерывным способом в батарее последовательно соединенных полимеризаторов, охлаждаемых через рубашку. Для эффективного отвода теплоты реакции (тепловой эффект полимеризации изопрена составляет около 1,05 МДж/кг) полимеризаторы снабжают скребковыми мешалками, которые способствуют очистке поверхности теплообмена (стенок реактора).

При работе батареи из 4...6 полимеризаторов в изотермическом режиме первый реактор, где конверсия может достигать 30...50%, оказывается наиболее напряженным в отношении теплосъема и несмотря на автоматическое регулирование температуры, возможны местные перегревы, влекущие за собой снижение M_n каучука и отложение полимера на стенках реактора. При сравнении работы разных батарей или одной и той же батареи в течение продолжительной эксплуатации наблюдается неоднородность полимера по M_n , ММР и физико-механическим показателям вулканизатов.

В качестве антиагломераторов можно применять сополимеры стирола с малеиновым ангидридом (стиромаль), растворимые производные целлюлозы, поливиниловый спирт, тальк, барит, каолин, кизельгур, фосфат кальция и др. Диспергирование полимера с одновременным нагревом частиц осуществляют в крошкообразователях инжекторного типа.

После первой ступени дегазации дисперсия каучука в воде, содержащая около 5 % полимера, концентрируется до содержания полимера примерно 10 % в специальных фильтрующих устройствах. Фильтр снабжен пульсационной камерой, куда подается азот под давлением (для предотвращения отложений каучука на внутренней поверхности фильтра).

Водная дисперсия каучука после дегазатора второй ступени направляется на выделение и сушку полимера[9,14,16,19,42].

1.4 Технологический процесс производства изопренового каучука

1.4.1 Характеристика сырья для производства каучука

Выпускаемый промышленностью изопреновый каучук СКИ-3 по пластичности подразделяется на две группы и должен удовлетворять следующим техническим требованиям:

I группа II группа

Вязкость по Муни, не менее 60 50

Пластичность 0,30...0,40 0,41...0,50

Содержание золы, %, не более 0,7 0,7

Содержание металлов, %, не более

Медь 0,0002 0,0003

Железо 0,006 0,006

Титан 0,1 0,1

Потери массы, %, не более 0,60,7

Содерж. стеариновой кислоты, % 0,5...1,3 0,5...1,8

Содержание нафтама-2, % 0,4...0,8 0,4...0,8

Содержание 1,4-дифенил-п-фенилен-диамина, % 0,2...0,5 0,2...0,5

Условная прочность при растяжении, МПа, не менее

при 20 °С 26,5 25,5

при 100°С 16,7 15,7

Относит. удлинение, %, не менее 700

Ост. удлинение, %, не более 16

Поскольку свойства каучука СКИ-3 уступают натуральному в невулканизованном состоянии и свойств резин, разработаны новые марки изопреновых каучуков, превосходящие СКИ-3 по основным показателям (например каучуки СКИ-3А и СКИ-3Ш). Они более стабильны по свойствам, чем СКИ-3, имеют повышенные физико-механические показатели [4,8].

Изопреновые каучуки применяют вместо натуральных при изготовлении практически всех резиновых изделий (шины, резинотехнические изделия, транспортные ленты, рукава, формовые и неформовые детали и др.). Кроме того, изопреновые каучуки, содержащие

неокрашивающие и нетоксичные стабилизаторы, применяют для изготовления медицинских изделий, резин для пищевых продуктов и др. На основе СКИ-3 получают изопреновый латекс, а также эбониты.

К изопрену как сырью для производства каучука предъявляются высокие требования по чистоте, поскольку, примеси существенно влияют на кинетику полимеризации микроструктуру полимера. Например, при содержании воды в системе более 0,001%, полимеризация протекает с большим индукционным периодом, что резко увеличивает содержание геля. Димеры, которые содержатся в изопрене влияют на микроструктуру, а изобутилен снижает скорость полимеризации. Углеводороды ацетиленового ряда и диеновые углеводороды существенно снижают скорость полимеризации из-за повышения индукционного периода [3,8,10].

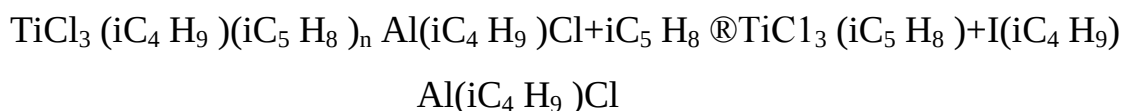
Полимеризация изопрена. В полимеризации используются титановые катализаторы и проводится в растворе изопентана, где вязкость растворов полимера будет минимальной. При этом осушенная фракция изопентана-изопрена дополнительно подпитывается изопреном до содержания 12...15%, потом подается в холодильник, где охлаждается под действием испаряющегося жидкого пропана при температуре - 20 °С. В этом случае модифицированный катализатор (до 1 % в расчете на изопрен) подается на полимеризацию с помощью специального дозирующего устройства, которое автоматически регулирует подачу катализатора с учетом вязкости полимеризата.

Процесс полимеризации изопрена введением катализаторов Циглера-Натта протекает в три реакции:

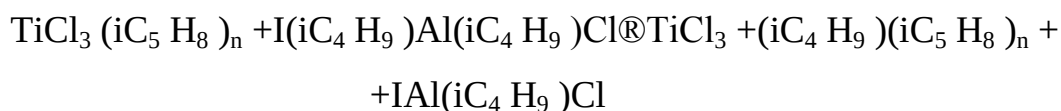
1. Зарождение активных центров полимеризации при взаимодействии активных центров катализатора с мономером:



2. Рост полимерных цепей при взаимодействии активных центров полимеризации с мономером:



3. Обрыв роста полимерных цепей:



При этом активным центром полимеризации является соединение, которое образуется присоединением первой молекулы мономера.

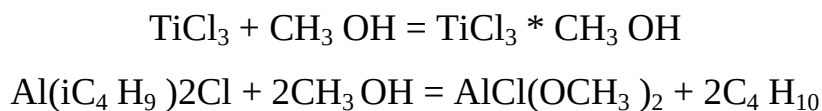
Полимеризаторами являются аппараты с мешалками и скребками, которые обеспечивают интенсивное и равномерное перемешивание в объеме полимеризатора и непрерывную очистку поверхности теплообмена, чтобы достичь высокой степени теплообмена. Причем теплоотдача осуществляется через рубашку аппарата, охлаждаемую рассолом. В данном случае температуру полимеризации повышают до 55 ± 5 °C, что обеспечивает конверсию изопрена до 85...90%.

На этой стадии происходит обрыв реакции полимеризации при достижении заданного превращения компонентов катализатора в соединении. В этом случае прекращается дальнейшая обработка полимеризата, в результате предотвращается деструкция, приводящая к снижению качества изопренового каучука.

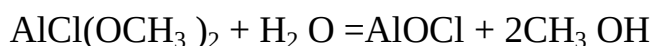
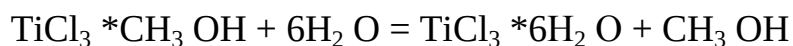
Дезактивация катализатора. После процесса полимеризации производится дезактивация (разрушение) каталитического комплекса и заправка полимеризата антиоксидантами для стабилизации полимера.

Разрушение каталитического комплекса, без перевода переходного металла (Ti_3) в неактивное состояние с последующей отмывкой полимеризата.

Химическая реакция в этом случае проходит в соответствии с уравнением реакции:



При отмывке полимера водой от продуктов разрушения каталитического комплекса полученные алкоголяты гидролизуются:



Для дезактивации катализатора применяются соединения, реагирующие с компонентами катализатора, с образованием растворимых в воде продуктов, (алифатические спирты, кислоты, амины и др.). В промышленных условиях в основном применяют метиловый спирт, который можно регенерировать из отмывной воды, или воду. Для смешения полимеризата с дезактиватором (стоппером) используют специальные смесители. Для полной конверсии активных компонентов катализатора дезактиватор подают в избытке.

После дезактивации полимеризат отводится в специальный смеситель и смешивается с водной суспензией стабилизатора. Далее, заправленный стабилизатором полимеризат поступает в отстойник-усреднитель [2,29].

1.5 Технологические особенности дегазации и способы повышения эффективности

В основном дегазации каучука осуществляется путем диспергирования полимеризата в горячей воде. В результате чего происходит отгонка (удаления) растворителя и мономера из капель полимеризата и образуются пористые частицы каучука (крошка). При этом тепло подводится с помощью пара, который барботирует через водную дисперсию крошки каучука в дегазаторе. Водная дегазация применяется практически для дегазации всех каучуков. При этом дегазацию проводят в одну или две ступени непрерывно. В этом случае для предотвращения слипания крошки каучука с полимеризатом в дегазаторе вводят специальный антиагломератор. Дегазацию часто осуществляют в противотоке острого водяного пара и дегазируемой крошки каучука в воде. При этом очень важно соблюдение технологических параметров, поскольку от них зависит конечное качество каучука. Степень удаления растворителя зависит от рабочей температуры и давления,

продолжительности дегазации, удельной поверхности контакта и линейных размеров частиц каучука и др.[3].

В процессе водной дегазации применяется оборот воды. В канализацию из системы водооборота сбрасывается только балансовый избыток, который образуется в результате конденсации пара [2,16,1].

В процессе водной дегазации в основном, затраты энергии приходятся на водяной пар, который используется для нагрева раствора каучука и испарения растворителя. Кроме того, пары углеводорода могут отводиться из дегазатора только в смеси с водяным паром.

Выделение стереорегулярных каучуков из растворов водным способом является наиболее распространенным в промышленности и простым методом выделения каучука. Этот процесс сочетает в себе несколько одновременно протекающих процессов: отгонку растворителя, коагуляцию полимера, промывку образовавшихся частиц каучука.

Для повышения качества изопренового каучука при водной дегазации регулируют расход полимеризата и температуру в дегазаторе изменением подачи пара в дегазаторы первой и второй ступени. Дополнительно подают растворитель каучука на вход дегазатора второй ступени, определяют динамическую вязкость дегазированного полимеризата, концентрацию толуола и димерных фракций в пробах, взятых с верха дегазатора второй ступени, и в зависимости от отклонения динамической вязкости полимеризата от заданного значения, изменяют расход растворителя каучука. Рассчитывается по формуле:

$$B = B_n + \Psi (\mu - \mu_0), \quad (1)$$

B_n - начальное значение расхода растворителя;

Ψ - константа, характеризующая процесс;

μ и μ_0 - текущее и заданное значение вязкости соответственно.

При уменьшении концентрации толуола и димерных фракций в пробах, взятых с верха дегазатора, по сравнению заданным значением

концентрации, увеличивают заданное значение температуры в дегазаторе второй ступени, причем количество используемого растворителя составляет 50-60% от количества полимеризата.

В этом случае измеряется вязкость дегазированного полимеризата и корректируется. В результате вязкость поддерживают на заданном значении, что способствует максимальному извлечению остаточных углеводов из каучука и повышается его качество.

В настоящее время в технологии производства каучуков применяют разные схемы водной дегазации [2].

Одной из распространенных способов является применения водооборота с возвратом воды, отделяемой от крошки каучука на первой ступени дегазации.

При двухступенчатой дегазации каучука СКД ввод полимеризата (раствор каучука в углеродном растворителе) в дегазатор первой ступени осуществляется через специальные приспособления, обеспечивающие интенсивное контактирование раствора каучука с острым водяным паром вместе циркуляционной горячей водой, которая предварительно заправлена антиагломератором. Смесь водяного пара с парами растворителя и непрореагировавшего мономера из верхней части дегазатора поступает в отбойник, а затем в систему конденсации, откуда растворитель направляется на регенерацию. Из первой ступени пульпа перекачивается во второй дегазатор. Такие дегазаторы оборудованы мешалками. В нижнюю часть дегазатора второй ступени подается острый водяной пар, который затем возвращается в первый дегазатор.

Для улучшения дегазации применяют дегазаторы второй ступени различной конструкции. Дегазатора с повышенным уровнем заполнения пульпой, секционированного ситчатыми тарелками и оборудованного центральной лопастной мешалкой и др.

В производстве изопренового каучука используется также схема дегазации в двух отдельных аппаратах. Конструкцией дегазаторов

предусмотрено выдерживание в них более высокого уровня пульпы по сравнению с дегазаторами, применяемыми в других технологических схемах.

Смесительные машины не относятся к числу эффективных конструкций для массообменных процессов, поэтому применение их для процессов дегазации каучука бывает оправданным только в производствах небольшого объема.

Однако широкое использование смесительных машин связано с тем, что они дают возможность совместить несколько операций (процессов), чаще всего смешения (с целью равномерного диспергирования противостарителя, равномерность свойств, повышение пластичности каучука) и повышения массоотдачи. Общая продолжительность процесса определяется наиболее медленной стадией, поэтому для смесительных машин необходимо рассмотреть как закономерности смешения, так и закономерности массоотдачи.

Для описания массоотдачи, при дегазации каучука в лопастном смесителе, целесообразно использовать модель обновления поверхности, так как сам характер перемешивания способствует обновлению поверхности каучука, следовательно, эта модель отражает физическую сущность процесса.

Применяется также дегазация каучука методом сброса давления. Удаление органических растворителей из каучука этим методом зависит от давления в рабочем пространстве аппарата. При организации непрерывного процесса емкость, в которую производится выброс раствора каучука, наполняется парами растворителя, от давления которых будет зависеть минимальная концентрация растворителя в каучуке после сброса давления.

На выходе из реактора в раствор полимера подается стоппер-прерыватель реакции, разлагающий каталитический комплекс. Далее раствор подвергается дегазации. Дегазация каучука осуществляется путем обработки полимеризата водяным паром. При этом растворитель удаляется, а полимер выделяется в виде пульпы-крошки, взвешенной в воде, которая направляется

на промывку и сушку. Возвратный изопрен и растворитель направляются на ректификацию и сушку.

В производстве стереорегулярных каучуков, получаемых полимеризацией в растворе, при принятом на заводах способе водной дегазации, каучук выделяется в виде крошки в водной фазе. Отделение каучука от воды (обезвоживание) проводится обычно в две стадии - отделение и отжим.

В производстве каучука типа СКИ, получаемого полимеризацией изопрена в растворе изопентана, одной из основных стадий является выделение каучука из раствора.

Выделение проводят методом водной дегазации, заключающемся в отгонке растворителя с водяным паром. В силу специфики технологии, раствор каучука, подаваемый на дегазацию, содержит от 0,5 до 2% толуола. При этом содержание толуола достаточно низко, но его присутствие существенно сказывается на качестве дегазации каучука.

Для описания массоотдачи при дегазации каучука в лопастном смесителе целесообразно использовать модель обновления поверхности, так как сам характер перемешивания способствует обновлению поверхности каучука, поэтому такая модель отражает физическую сущность процесса.

Для вязких растворов полимера применяют аппараты с мешалкой из двухслойной стали Ст. 3 + 0X13. Далее перекачивают в дегазатор для дегазации каучука паром и водой. В аппарате циркулирует вода с температурой до 100°C, в которой взвешена крошка каучука. Чтобы крошка не слипалась, в дегазатор подают раствор едкого кали, а циркулирующей воде вводят раствор сульфата цинка, которые образуют гидроокись цинка, оседающий на каучуке.

В двухвалковом дегазаторе для безводной дегазации каучуков, раствор каучука подают в верхнюю камеру дегазатора, там происходит его нагрев при частичном испарении растворителя. Далее раствор каучука проходит зазор между вращающимися рабочими валками. В нижней камере дегазатора

протекает дегазация оставшегося на валках слоя полимера. Потом свободный растворителя каучук выходит из нижней камеры и снимается в виде ленты.

Двухвалковые машины для дегазации каучуков используются для отгонки низкокипящих растворителей. При этом давление в кожухе валков составляет 45 кПа, что обеспечивает оптимальные условия отгонки растворителя при невысокой температуре [2,3,27,26].

В результате анализа технологических и теоретических основ производства изопренового каучука за базовую технологию выбираем полимеризацию полимеризата с использованием каталитического комплекса триизобутилалюминий (ТИБА) с применением двухступенчатой водной дегазации в дегазаторе емкостного типа с мешалкой и барботированием горячего пара. На второй ступени предлагаем использовать метод текущего контроля параметров процесса с последующим их корректировкой. Для этого в работе надо решить следующие задачи:

1. Разработать технологический процесс дегазации изопренового каучука с учетом результатов анализа
2. Подобрать соответствующее оборудование для осуществления предлагаемой технологии. Внести изменение в конструкции базового дегазатора для улучшения процесса перемешивания.
3. Разработать мероприятия по обеспечению безопасности предлагаемого технологического процесса. Меры экологической безопасности окружающей среды
4. Провести технико-экономическое обоснование предлагаемой технологии

20% от общего объема полимеризата), причем вода уже заправлена антиагломератором (2%) для поддержания кислотности (pH 7...8).

Остаток циркуляционной воды подается в интенсивный смеситель 4. Полученная эмульсия полимеризата через инжектор 5, под давлением пара (1,02 МПа), направляют в нижнюю часть дегазатора первой ступени 6. Нижнюю часть дегазатора 6, также подается циркуляционная вода из концентратора 8.

Из верхней части дегазатора первой ступени отводятся пары углеводородов и воды, и идут на воздушный конденсатор 13 и на сепарацию 14.

Из нижней части дегазатора 6 выводится пульпа с содержанием каучука до 5% и насосом 7 подается в концентратор крошки 8, концентрируется до содержания каучука 10% (за счет отделения воды). При этом, чтобы предотвратить налипания крошки на перфораторы концентратора, через пульсатор вводят азот под давлением 0,6 МПа.

Дальше концентрированная пульпа поступает в верхнюю часть дегазатора 10, на вторую ступень дегазации. Нижняя часть аппарата 10 снабжен сепаратором. Пульпа из дегазатора 10, дросселируется в сепаратор 14 и за счет снижения давления (с 0,35 до 0,12 МПа) происходит испарение части воды. Инжектором 11, водяной пар выводится под нижнюю тарелку. А пульпа из сепарационной части насосом 12 подается на концентрирование. Пары, отбираемые из верхней части дегазатора 10, направляются в нижнюю часть дегазатора первой ступени 6. В оба дегазатора подается пар давлением 0,6 МПа. Из дегазатора 6 поступает в конденсатор 13, где конденсируются нагнетаемым вентилятором воздухом. Потом конденсат последовательно поступает в конденсаторы 14 и 15, которые охлаждаются водой. Несконденсированные же пары из сепаратора 14 и 15 направляются в конденсатор-холодильник 16, затем в конденсатор 17, охлаждаемый рассолом. Конденсат из аппаратов 15, 16, 17 собирается в отстойник 18, где протекает процесс расслаивание. Отсюда нижний слой воды собирается в

сборник 19, откуда насосом 20 отправляется для отмывки полимеризата. В сборник 19 подается умягченная вода. Верхний углеводородный слой поступает в сборник 21, где происходит его дополнительное расслаивание. Водный слой направляется на отпарку углеводородов, а углеводородный слой насосом 22 подается на щелочную отмывку, а в сборник 21 подается свежий растворитель.

Кроме того, в технологическом процессе предусмотрено использовать для первой ступени полимеризатор усовершенствованной конструкции мешалки (рисунок 5). В конструкции предусмотрена подача пара для барботирования через перфорированные трубы, расположенные по периметру нижней части дегазатора. Причем трубы расположены под обратным углом $30...35^{\circ}$ друг другу. Подача пара осуществляется с одного коллектора, который соединяет трубы. Предложенная конструкция обеспечит высокую степень перемешивания полимеризата в дегазаторе первой ступени, что позволит повысить интенсивность процесса дегазации.

Разработанная конструкция дегазатора первой ступени состоит из корпуса 1, устройства барботирования 2, который состоит из двух перфорированных труб, соединенных между собой коллектором 3, для обеспечения одновременной подачи пара в дегазатор из общего патрубка ввода 6 на коллекторе 3. Трубы расположены на стенке внутри дегазатора по обе стороны стенки по периметру под углом $30...35^{\circ}$ С, в обратном направлении друг другу. На дне дегазатора расположен патрубок 5 для вывода продукта. На валу 6, который установлен на подшипниковой опоре 7, обеспечивает вращение мешалки 10, с помощью привода, состоящего из редуктора 8 и электродвигателя 9. На боковой стенке дегазатора расположен патрубок 11 для подачи пульпы и патрубок 12 для подачи воды. На крыше дегазатора имеется система вывода парогазовой фазы 6 и клапан регулирования рабочего давления в дегазаторе [2,15,16].

Предлагаемая конструкция обеспечить достаточно интенсивное перемешивание полимеризата в дегазаторе, что позволит повысить

равномерность распределения по всему объему полимеризата и температуры. Это значительно повысит скорость дегазации и качество получаемого каучука.

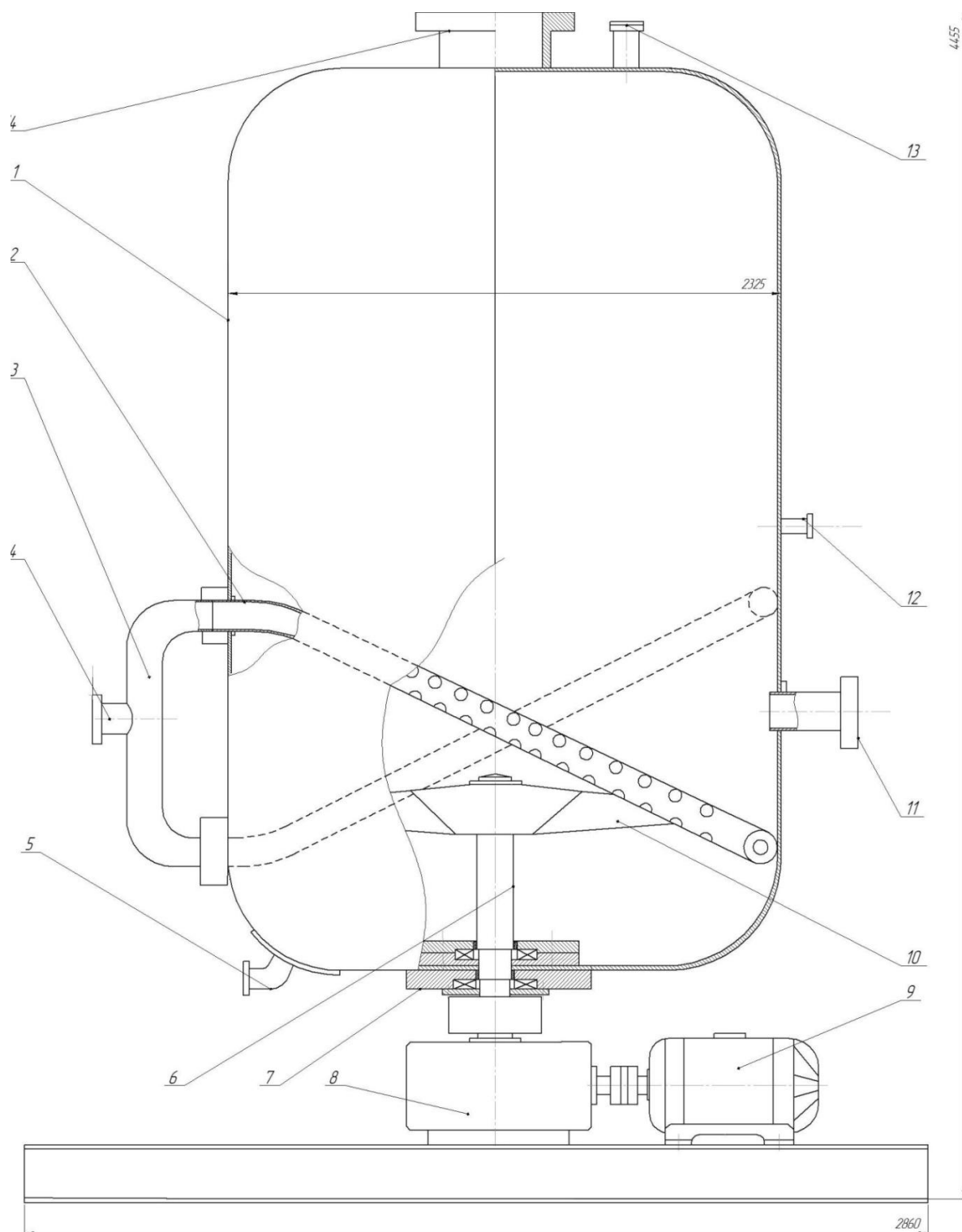


Рисунок 5 - Дегазатор первой ступени с измененной конструкцией мешалки

На основе анализа пути повышения эффективности и качества процесса дегазации каучука, проведенный выше, в предлагаемой технологии предлагается ввести в технологическую схему дегазации постоянный контроль основных технологических параметров и вести их регулирование в течение всего процесса, в зависимости от отклонения этих параметров от заданного (Патент РФ №2079510 от 20.05.1997). Для осуществления этой операции, в работе разработана блок-схема ее реализации (рисунок 6).

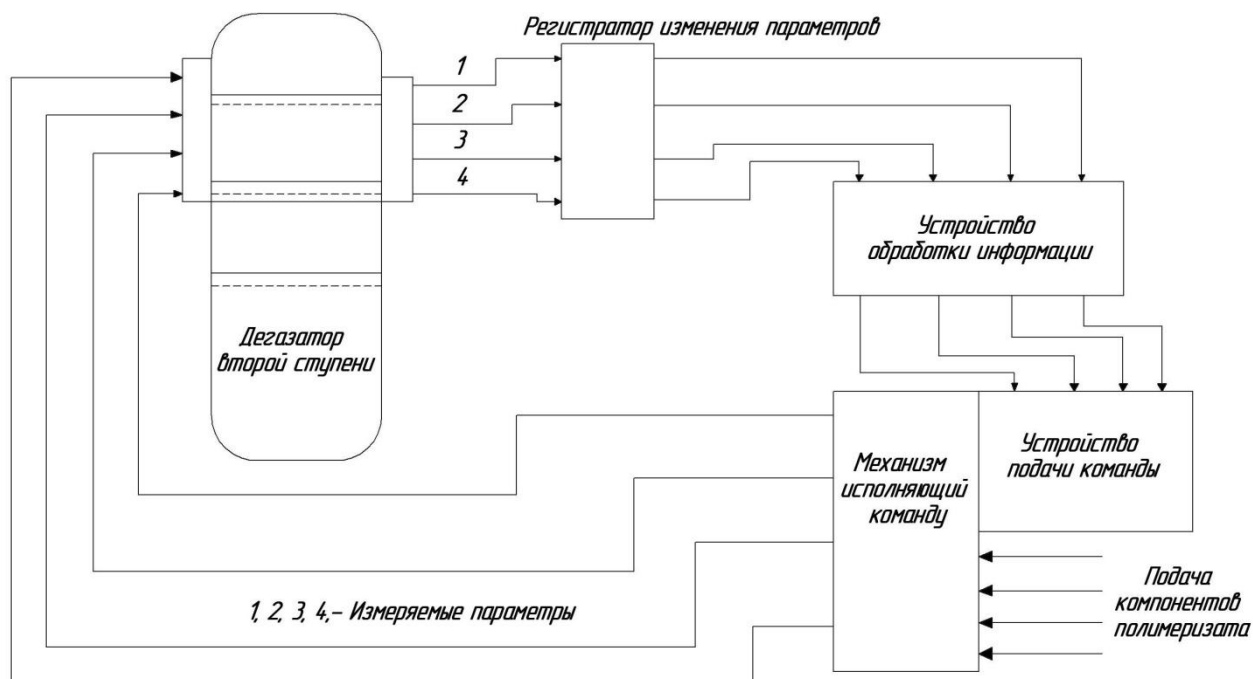


Рисунок 6 - Блок схема регулирования технологических параметров полимеризата в дегазаторе второй ступени

Принцип работы данной схемы следующий. На верхней части в дегазаторе второй ступени, где полимеризат проходит вторую степень дегазации, установлены специальные датчики для слежения параметрами процесса в технологически заданном интервале (динамическая вязкость, температура, концентрация толуола и димерных фракции). Данные с датчика поступают в специальное устройство (контролер), где информация обрабатывается и сравнивается с заданным интервалом по технологии со значением параметров. Если текущее значение отклоняется от заданного

интервала, контролер дает команду соответствующему блоку, который отвечает за данный параметр и регулирует его.

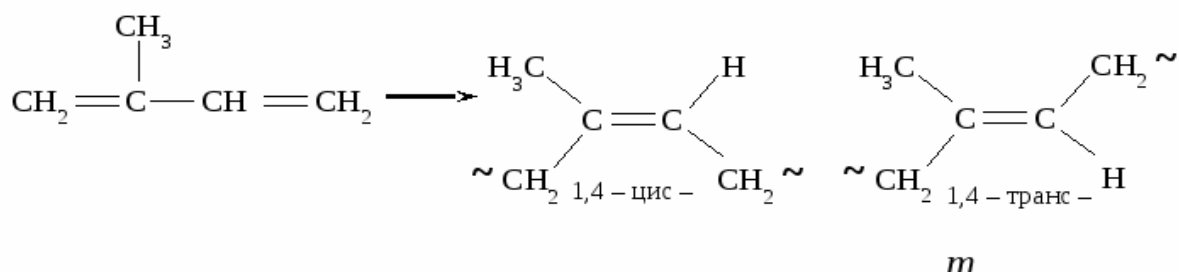
Предлагаемая операция будет способствовать максимальному извлечению остаточных углеводородов из каучука при дегазации, что существенно повысит его качество и производительность. В технологической схеме данная операция обозначена позиция 23 (рисунок 4).

2.2 Расчет материального баланса процесса дегазации

Исходные данные: производительность по СКИ-330 тыс.тонн/год. На основе литературных данных выбраны следующие показатели технологического процесса:

- массовая доля звеньев изопрена 35%,
- конверсия изопрена 95%,
- конверсия изопентана 50%,
- мономер содержит 10% мол.изопентана и 90% мол. изопрена,
- расход катализатора 0,10г/(л·час).

Уравнения реакции:



Рассчитаем производительность каучука в час:

$$G = G_{\text{год}} / (365 \cdot 24) \quad (2)$$

$$G = 30000m / (365 \cdot 24) = 3,424m/\text{ч} = 3424\text{кг}/\text{ч}.$$

Количество изопрена пошедшее на синтез каучука:

$$G_{\text{на каучук}} = G_{\text{в каучуке}} = 3424 \cdot 0,65 = 2226 \text{ кг, объем } 3,9 \text{ м}^3 \text{ или } 79,5 \text{ кмоль.}$$

Всего в шихте:

$$G_{\text{из.}} = G_{\text{на каучук}} \cdot 100\% \quad (3)$$

$$G_{\text{из.}} = 2226 \cdot 100/95 = 2343 \text{ кг, объем } 4,1 \text{ м}^3 \text{ или } 83,6 \text{ кмоль.}$$

Не прореагировавший:

$$G_{ост.} = G. - G_{на\ каучук} \quad (4)$$

$$G_{ост.} = 2343 - 2226 = 117 \text{ кг или } 2,8 \text{ кмоль.}$$

Количество изопентана пошедшее на синтез каучука:

$$G_{на\ каучук} = G_{в\ каучуке} \quad (5)$$

$$G_{на\ каучук} = 3424 \cdot 0,35 = 1198 \text{ кг, объем } 1,4 \text{ или } 20,5 \text{ кмоль.}$$

Количество шихты:

$$G_{шихта} = G_m \cdot 100 / \%_{изм. в шихте} \quad (6)$$

$$G_{шихта} = 2343 \cdot 100/10 = 23430 \text{ кг.}$$

Объем шихты:

$$V_{шихты} = V_{из.} + V_{изп.} \quad (7)$$

$$V_{шихты} = 4,1 + 41 = 44,2 \text{ м.}^3$$

Всего в шихте:

$$G_{изп.} = G_{шихта} - G_{из.} \quad (8)$$

$$G_{изп.} = 23430 - 2343 = 21087 \text{ кг или } 34,3 \text{ м}^3 \text{ или } 522,7 \text{ кмоль.}$$

Не прореагировавший:

$$G_{изп. ост.} = G_{изп.} - G_{на\ каучук}$$

(9)

$$G_{изп. ост.} = 21087 - 1198 = 19889 \text{ кг или } 473 \text{ кмоль.}$$

Катализатор и сокатализатор:

$$V : Al = 1 : 20$$

$$Al(C_2H_5)_2Cl : Al(C_2H_5)Cl_2 = 40:60$$

Воспользовавшись этими значениями, сделаем пересчет на катализатор и сокатализатор и получим:

$$VOCl_3 : Al(C_2H_5)_2Cl : Al(C_2H_5)Cl_2 = 1 : 11 : 17$$

Количество катализатора:

$$G_{кат.} = V_{шихты} \cdot 0,1 \quad (10)$$

$$G_{кат} = 3,9 \text{ кг или } 0,021 \text{ кмоль,}$$

$$0,1 - \text{ количество катализатора на объем смеси, кг/(м}^3 \cdot \text{час)}$$

Сокатализатор:

$$G_{\text{сокат.1}} = G_{\text{кат.}} \cdot 11 \quad (11)$$

$$G_{\text{сокат.1}} = 3,9 \cdot 11 = 42,9 \text{ кг или } 0,36 \text{ кмоль},$$

$$G_{\text{сокат.2}} = G_{\text{кат.}} \cdot 17 \quad (12)$$

$$G_{\text{сокат.2}} = 2,6 \cdot 17 = 66,2 \text{ кг или } 0,525 \text{ кмоль}.$$

На основе полученных данных составим таблицу материального баланса.

Таблица 1 — Материальный баланс реакции дегазации

Приход				Расход			
Компонент	Кг/ч	Кмоль /ч	%	компонент	Кг/ч	Кмоль /ч	%
Изопентан	2343	83,6	10	Каучук	283,1	14,5	20
Изопрен	21087	522,1	89,76	Изопентан	1198	20,5	0,7
Кат-затор	3,9	0,02	0,01	Изопрен	19889	472,5	84,5
Сокат-тор1	42,9	0,36	0,01	Катализатор	3,9	0,02	0,1
Сокат-тор2	66,2	0,525	0,22	Сокат-затор1	42,9	0,36	0,1
Сумма	23543		100	Сокат-затор2	66,2	0,525	0,2
				Сумма	23543		100

2.3 Энергетический баланс процесса дегазации

Исходные данные для составления материального баланса:

Температура компонентов на входе в полимеризатор - (-18⁰С)

Температура компонентов на выходе из полимеризатора - (0⁰С)

Температура хладагента на входе в рубашку - (-18⁰С)

Температура хладагента на выходе из рубашки - (0⁰С)

Температура внутри полимеризатора - (0⁰С)

В качестве хладагента используется жидкий пропан

Общее количество тепла будет равно:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 = Q_4 + Q_5, \quad (13)$$

Q_1 - теплота реагентов;

Q_2 - подводимое/отводимое тепло с теплоносителем-хладагентом;

Q_3 - тепловой эффект реакции;

Q_4 - теплота продуктов реакции;

Q_5 - потери в окружающую среду (5%).

Рассчитаем теплоту реагентов (Q_1).

Теплота, подводимая с реагентами, рассчитывается по формуле

$$Q_i = G_i \cdot C_{p_i} \cdot t, \quad (14)$$

G - расход вещества (моль);

C_p - теплоемкость (Дж/моль·град);

t - температура в Цельсиях.

Примем температуру на входе -18°C

$$Q_{из.} = G_{из.} \cdot C_{p.} \cdot t,$$

$$Q_{из.} = 83,6 \cdot 43,63 \cdot (-18) = -65654,4 \text{ кДж},$$

$$Q_{изп.} = G_{изп.} \cdot C_{p.} \cdot t,$$

$$Q_{изп.} = 522,2 \cdot 63,98 \cdot (-18) = -621386,4 \text{ кДж},$$

$$Q_{кат.} = G_{кат.} \cdot C_{p_{кат.}} \cdot t,$$

$$Q_{кат.} = 0,02 \cdot 93,72 \cdot (-18) = -33,7 \text{ кДж},$$

$$Q_{сокат. 1} = G_{сокат. 1} \cdot C_{p_{сокат. 1}} \cdot t,$$

$$Q_{сокат. 1} = 0,36 \cdot 89,62 \cdot (-18) = -580,7 \text{ кДж},$$

$$Q_{сокат. 2} = G_{сокат. 2} \cdot C_{p_{сокат. 2}} \cdot t,$$

$$Q_{сокат. 2} = 0,525 \cdot 75,01 \cdot (-18) = -708,7 \text{ кДж}_1,$$

$$Q_{из.} + Q_{изп.} + Q_{кат.} + Q_{сокат. 1} + Q_{сокат. 2} = -688363,9 \text{ кДж},$$

Рассчитаем тепловой эффект реакции (Q_3).

$$Q_{реакции} = \Delta H_{реакции} \cdot G, \quad (15)$$

$$Q_{реакции} = 2856 \cdot 3424 = 9778944 \text{ кДж},$$

$$Q_3 = Q_{реакции} = 6520533,6 \text{ кДж},$$

Рассчитаем физическую теплоту продуктов реакции (Q4).

Примем температуру на выходе 0- 1 °C

$$Q_i = G_i \cdot C_{pi} \cdot t, \quad (16)$$

$$Q_{каучук} = G_{каучук} \cdot C_{р каучук} \cdot t,$$

$$Q_{каучук} = 3424 \cdot 2,177 = 7730,3 \text{ кДж},$$

$$Q_{из.ост.} = G_{из.ост.} \cdot C_{р.} \cdot t,$$

$$Q_{из.ост.} = 2,8 \cdot 43,63 = 127,8 \text{ кДж},$$

$$Q_{изп.ост.} = G_{изп.ост.} \cdot C_{р пр.} \cdot t,$$

$$Q_{изп.ост.} = 472,5 \cdot 63,98 = 32220,1 \text{ кДж},$$

$$Q_{кат.} = G_{кат.} \cdot C_{р кат.} \cdot t,$$

$$Q_{кат.} = 0,02 \cdot 93,72 = 18,4 \text{ кДж},$$

$$Q_{сокат. 1} = G_{сокат. 1} \cdot C_{р сокат. 1} \cdot t,$$

$$Q_{сокат. 1} = 0,36 \cdot 89,62 = 52,2 \text{ кДж},$$

$$Q_{сокат. 2} = G_{сокат. 2} \cdot C_{р сокат. 2} \cdot t,$$

$$Q_{сокат. 2} = 0,525 \cdot 75,01 = 79,37 \text{ кДж},$$

$$Q_4 = Q_{каучук} + Q_{из.ост.} + Q_{изп.ост.} + Q_{кат.} + Q_{сокат. 1} + Q_{сокат. 2}$$

$$Q_4 = 41873,6 \text{ кДж}.$$

Так как температуры на входе и выходе из реактора малы, то Q умножаем на коэффициент 1,05

$$Q_{общ} = (Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4) \cdot 1,05, \quad (17)$$

1.05-коэффициент, учитывающий потери тепла в окр. среду (5%)

$$Q_5 = 37873 \cdot 1,05 = 1893 \text{ кДж}.$$

Рассчитаем тепло отводимое хладагентом (Q2):

$$Q_2 = Q_4 - Q_1 - Q_3, \quad (18)$$

$$Q_2 = - 10165486 \text{ кДж}.$$

Рассчитаем количество хладагента (в нашем случае это жидкий пропан)

$$m = \frac{Q_2}{r \Delta t} \quad (19)$$

r - теплота парообразования жидкого изопрена (350 кДж/кг);

t - разность температур хладагента на входе и выходе (температура хладагента на входе -18° , а на выходе 0° , тогда $t = 18^\circ$);

$$m = 10165386 / 359 / 18 = 1613 \text{ кг или } 3165 \text{ л.}$$

С учетом потери (5%), 1694 кг или 3323 л

Таблица 2 — Энергетический баланс

Приход			Расход		
Статьи	Теплота, кДж.	Теплота кВт	Статьи	Теплота, кДж	Теплота, кВт
Теплота исходных веществ	-688363,9	-184,8	Теплота продуктов реакции	37849	11,48
Тепловой эффект реакции	9778944	2705,2		-	-
Отводимая теплота	-9735205	-2693	Потери в окружающую среду	1893	0,53
Сумма	43739	12,1	Сумма	43739	12,1

2.4. Расчет эффективности технологии дегазации

Для обоснования рентабельности предлагаемой в дипломной работы технологического процесса водной дегазации при производстве изопренового каучука, произведем предварительный расчет экономической эффективности, с учетом внесения изменений в технологию и в конструкцию

основного оборудования. Расчет произведем по данным ООО «Тольятти каучук».

2.4.1 Расчет годовой производительности (годовую программу):

Для расчета используем формулу:

$$M = Q_{\text{ч}} * T_{\text{эф.}} \quad (20)$$

$Q_{\text{ч}}$ – часовая производительность колонны т/ч;

$T_{\text{эф}}$ – эффективное время в году, ч;

$$M = 3,7 * 8100 = 30000 \text{ т/ч}$$

Таблица 3 — Определение эффективного времени

Показатели	Обозначение	количество
Количество суток в году	сутки	365
Эффективное время работы без простоев	сутки	340
Эффективное время работы в часах	час	8160
Часовая производительность	т/час	8,6
Годовая производительность	т/год	30000

2.4.2. Расчет капитальных вложений

Так как производится модернизация используемой технологии:

$$K_{\text{мод}} = C_{\text{ввод.}} - C_{\text{зам.}} + (P_{\text{сб.}} + P_{\text{дем.}}) * K, \quad (21)$$

$$K_{\text{мод}} = 7250 + 500 + (1500 + 138700) * 1,5 = 10700 \text{ тыс.руб.},$$

$K_{\text{мод}}$ – капитальные вложения при модернизации, тыс.руб.;

$C_{\text{ввод}}$ – стоимость изготовление вводимого оборудования, тыс. руб.;

$C_{\text{зам.}}$ – стоимость замененного оборудования, как металлом тыс. руб.;

$P_{\text{сб}}$ – расходы на сборку и монтаж, тыс. руб.;

$P_{\text{дем}}$ – расходы на демонтаж, тыс. руб.;

$K_{\text{нак}}$ – коэффициент накладных расходов, $K_{\text{нак}} = 1,5$.

2.4.3. Расходы на сборку и монтаж

$$P_{сб} = T_{сб} \cdot T_{ср.ч} \cdot n \cdot (1 + K_{пр}) \cdot K_n \cdot K_{доп} \cdot K_c, \quad (22)$$

$T_{сб}$ – трудоемкость сборки и монтажа оборудования, $T_{сб} = 120$ ч;

$T_{ср.ч}$ – среднечасовая тарифная ставка ремонтных рабочих;

$$T_{ср.ч} = 25,09 \text{ руб.};$$

n – количество ремонтных рабочих, $n = 12$ чел.;

$K_{пр}$ – коэффициент премиальных доплат, $K_{пр} = 50 \%$;

K_n – коэффициент доплат в ночное время, $K_n = 1,2$;

$K_{доп}$ – коэффициент доплат, $K_{доп} = 1,4$;

K_c – коэффициент отчисления на соц. Страхование, $K_c = 1,395$.

$$P_{сб} = 120 \cdot 25,09 \cdot 12 \cdot (1 + 0,5) \cdot 1,2 \cdot 1,4 \cdot 1,395 = 1500 \text{ тыс.руб.}$$

2.4.4. Расходы на демонтаж, для чего используем формулу:

$$P_{зам.} = T_{зам.} \cdot T_{ср.ч} \cdot n \cdot (1 + K_{пр}) \cdot K_n \cdot K_{доп} \cdot K_c, \quad (23)$$

$T_{дем}$ – трудоемкость демонтажа оборудования, $T_{дем} = 48$ ч.

$$P_{сб} = 48 \cdot 20,09 \cdot 12 \cdot (1 + 0,5) \cdot 1,2 \cdot 1,4 \cdot 1,395 = 1387000 \text{ руб.}$$

2.5. Организация труда рабочих

2.5.1 Режим работы установки и график сменности

Применяем 5-ти сменный график сменности с 8-ми часовым рабочим днем

Таблица 4 – График сменности

смены	часы	дни месяца																			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
		21	22	23	24	25	26	27	28	29	30										
1	23-7	Б	Б	В	В	Г	Г	Д	Д	А	А	Б	Б	В	В	Г	Г	Д	Д	А	А
2	7-15	Д	Д	А	А	Б	Б	В	В	Г	Г	Д	Д	А	А	Б	Б	В	В	Г	Г
3	15-23	Г	Г	Д	Д	А	А	Б	Б	В	В	Г	Г	Д	Д	А	А	Б	Б	В	В
выходные		А	А	Б	Б	В	В	Г	Г	Д	Д	А	А	Б	Б	В	В	Г	Г	Д	Д
		В	В	Г	Г	Д	Д	А	А	Б	Б	В	В	Г	Г	Д	Д	А	А	Б	Б

А, Б, В, Г, Д – смены.

2.5.2 Баланс рабочего времени одного рабочего

Таблица 5 – Рабочее время одного рабочего

показатели	количество	
	при непрерывном графике	пятидневная рабочая неделя
Календарное время, дней	365	365
Выходные дни	137	104
Праздничные дни	8	11
Номинальное время работы, дней	220	250
Невыходы, дни:		
- очередной или дополнительный отпуск	35	35
- учебный отпуск	20	20
- выполнение государственной обязанности	0	0
- по болезни	0	0
Фактическое время работы, дней	220	195
Фактическое время работы, часов	1760	1560

2.5.3 Расчет штата рабочих

Таблица 6 – Штат рабочих

группы рабочих	кол- во смен	ср. тариф разряд	явочное число рабочих		коэфф. подмены	списоч. численность
			в смену	в сутки		
1.Производственные:					1	
1) аппаратчик	3	4	4	12		20
2) аппаратчик	3	5	7	21		35
3) аппаратчик	3	6	2	6		10
2. Дежурный персонал:						
1) деж. слесарь	3	5	1	3		5
2) деж. слесарь КИПиА	3	5	1	3		5
3. Ремонтный персонал:					1,29	
1) слесарь	1	6	5	-		5
2) слесаря	1	5	17	-		17
3) чистильщики	1	5	13	-		13
4) слесарь КИПиА	1	5	2	-		2
4. Вспомог. рабочие:						
1) кладовщик	1		1	1		1
2) уборщица	3		1	3		3

Списочная численность определяется:

$$Ч_{сп} = K \cdot Ч_{я} , \quad (24)$$

$Ч_{я}$ – явочная численность рабочих в сутки;

K – коэффициент подмены:

$$K = \frac{T_{ном}}{T_{эф}} ,$$

$T_{ном}$ – номинальное время работы в год;

$T_{эф}$ – фактическое время работы в год.

для сменного персонала $K = 183 / 220 = 0,83$;

для дневного персонала $K = 250 / 195 = 1,28$.

2.5.4 Расчет заработной платы персоналу

Средневзвешенная тарифная ставка:

$$T_{ср} = \Sigma T_{ci} \cdot \frac{Ч_i}{\Sigma Ч_i}, \quad (25)$$

T_{ci} – тарифная ставка рабочих i – го разряда;

$Ч_i$ – численность рабочих i – го разряда.

Аппаратчиков:

$$T_{ср} = \frac{22,8 \cdot 4 + 25,8 \cdot 7 + 26,7 \cdot 2}{13} = 25 \text{ руб./час},$$

22,8; 25,8 и 26,7 – часовые тарифные ставки аппаратчиков 4-го, 5-го и 6-го разрядов соответственно.

Средняя тарифная ставка дежурного персонала: 26,6 руб./час;

Средняя тарифная ставка дневного персонала:

$$T_{ср} = \frac{26,6 \cdot 27 + 27,3 \cdot 5}{32} = 26,7 \text{ руб./час},$$

26,5 и 27,3 – часовые тарифные ставки дневного персонала 5-го и 6-го разрядов соответственно.

Средняя тарифная ставка вспомогательного персонала:

$$T_{ср} = \frac{14,1 \cdot 1 + 7,8 \cdot 3}{4} = 9,4 \text{ руб./час},$$

14,1 и 7,8 – часовые тарифные ставки кладовщицы и уборщицы соответственно.

Годовой фонд заработной платы определяется по формуле:

$$З_{год} = З_{осн} + З_{доп}, \quad (26)$$

$З_{осн}$ – основной фонд заработной платы, руб;

$З_{доп}$ – дополнительный фонд заработной платы, руб.

$$З_{осн} = З_{тар} + З_{прем} + З_{празд} + З_{ночн}, \quad (27)$$

$З_{тар}$ – оплата по тарифу, руб;

$З_{прем}$ – премия, руб;

$Z_{\text{празд}}$ – доплата за работу в праздничные дни, руб;

$Z_{\text{ночн}}$ – доплата за работу в ночное время, руб.

$$Z_{\text{доп}} = Z_{\text{отп}} + Z_{\text{уч}} + Z_{\text{гос}}, \quad (28)$$

$Z_{\text{отп}}$ – оплата дней отпуска, руб;

$Z_{\text{уч}}$ – оплата ученического отпуска, руб;

$Z_{\text{гос}}$ – оплата дней за выполнение гос. обязанностей, руб.

2.5.5 Оплата по тарифу

$$Z_{\text{тар}} = T_{\text{ср.час}} \cdot T_{\text{факт}} \cdot n, \quad (29)$$

$T_{\text{ср.час}}$ – среднечасовая тарифная ставка, руб;

$T_{\text{факт}}$ – фактическое время одного рабочего, руб;

n – списочная численность рабочих, чел.

Оплата по тарифу группе производственных рабочих:

$$1760 \cdot 25 \cdot 65 = 2860000 \text{ руб.}$$

Оплата по тарифу группе дежурного персонала:

$$1760 \cdot 26,6 \cdot 10 = 462880 \text{ руб.}$$

Оплата по тарифу группе дневного персонала:

$$1560 \cdot 26,7 \cdot 37 = 1541124 \text{ руб.}$$

Оплата по тарифу группе вспомогательных рабочих:

$$1560 \cdot 9,4 \cdot 4 = 58656 \text{ руб.}$$

2.5.6 Расчет премии согласно вкладу в производство

$$Z_{\text{прем}} = Z_{\text{тар}} \cdot \frac{P}{100}, \quad (30)$$

$P = 50$, размер премии по премиальному положению, %.

Размер премии группе производственных рабочих:

$$2860000 \cdot \frac{50}{100} = 1430000 \text{ руб.}$$

Размер премии группе дежурного персонала:

$$462880 \cdot \frac{50}{100} = 231440 \text{ руб.}$$

Размер премии группе дневного персонала:

$$1541124 \cdot \frac{50}{100} = 770562 \text{ руб.}$$

Размер премии группе вспомогательных рабочих:

$$58656 \cdot \frac{50}{100} = 29328 \text{ руб.}$$

2.5.7 Расчет доплат за выполнение дополнительных работ

1. Доплата за работу в праздничные дни:

$$Z_{\text{празд}} = T_{\text{ср.час}} \cdot t_{\text{см}} \cdot n_{\text{см}} \cdot T_{\text{празд}} \cdot P_{\text{раб.см}}, \quad (31)$$

$T_{\text{ср.час}}$ – среднечасовая тарифная ставка;

$t_{\text{см}}$ – продолжительность смены;

$n_{\text{см}}$ – число смен в сутки;

$T_{\text{празд}}$ – число праздничных дней в году;

$P_{\text{раб.см}}$ – явочная численность рабочих в смену.

Для сменного персонала:

$$25 \cdot 8 \cdot 3 \cdot 8 \cdot 13 = 62400 \text{ руб.}$$

Для дежурного персонала:

$$26,6 \cdot 8 \cdot 3 \cdot 8 \cdot 13 = 66393,6 \text{ руб.}$$

2. Доплата за работу в ночное время:

$$Z_{\text{ноч}} = \frac{Z_{\text{тар}} \cdot 1/3 \cdot P_{\text{ноч}}}{100}, \quad (32)$$

$1/3$ – часть суток, приходящихся на ночное время;

$P_{\text{ноч}}$ – размер доплаты за работу в ночное время, $P_{\text{ноч}} = 15\%$

Для сменного персонала:

$$\frac{2860000 \cdot 1/3 \cdot 15}{100} = 143000 \text{ руб.}$$

Для дежурного персонала:

$$\frac{462880 \cdot 1/3 \cdot 15}{100} = 23144 \text{ руб.}$$

2.5.8 Основной фонд заработной платы

Группе производственных рабочих:

$$2860000 + 1430000 + 62400 + 143000 = 4495400 \text{ руб.}$$

Группе дежурного персонала:

$$462880 + 231440 + 66393,6 + 23144 = 783857,6 \text{ руб.}$$

Группе дневного персонала:

$$1541124 + 776562 = 2317686 \text{ руб.}$$

Группе вспомогательных рабочих:

$$58656 + 29328 = 87984 \text{ руб.}$$

2.5.9 Оплата дней отпуска

$$З_{отп} = \frac{З_{осн} \cdot T_{отп}}{T_{эф}}, \quad (33)$$

$T_{отп}$ – продолжительность отпуска;

$T_{эф}$ – фактическое время работы одного рабочего в год, дн.

Группе производственных рабочих:

$$4495400 \cdot 35 / 220 = 715177,3 \text{ руб.}$$

Группе дежурного персонала:

$$783857,6 \cdot 35 / 220 = 124704,6 \text{ руб.}$$

Группе дневного персонала:

$$2317686 \cdot 35 / 195 = 415994,9 \text{ руб.}$$

Группе вспомогательных рабочих:

$$87984 \cdot 35 / 195 = 15792 \text{ руб.}$$

2.5.10 Годовой фонд заработной платы

Группе производственных рабочих:

$$4495400 + 1123850 = 5619250 \text{ руб.}$$

Группе дежурного персонала:

$$783857,6 + 195964,4 = 979822 \text{ руб.}$$

Группе дневного персонала:

$$2317686 + 653706,3 = 2971392,3 \text{ руб.}$$

Группе вспомогательных рабочих:

$$87984 + 24816 = 112800 \text{ руб.}$$

2.5.11 Отчисления на социальное страхование

$$O_c = \frac{Z_{год} \cdot K_{oc}}{100}, \quad (34)$$

K_{oc} – процент отчислений на страхование, $K_{oc} = 35,9 \%$

Группе производственных рабочих:

$$5619250 \cdot 35,9 / 100 = 2017310,8 \text{ руб.}$$

Группе дежурного персонала:

$$979822 \cdot 35,9 / 100 = 351756,1 \text{ руб.}$$

Группе дневного персонала:

$$2971392,3 \cdot 35,9 / 100 = 1066729,8 \text{ руб.}$$

Группе вспомогательных рабочих:

$$112800 \cdot 35,9 / 100 = 40495,2 \text{ руб.}$$

Таблица 7 — Экономические показатели предлагаемой технологии дегазации каучука

№ п/п	Статья расхода	Ед. измерения	Сумма
1	Годовой выпуск продукции	тонна	30 000
2	Эффективная время в году	час	8 160
3	Капитальное вложение	Тыс. руб.	10 700
4	Годовой фонд оплаты труда		9 683 264
	а) производственные рабочие	руб	5 619 250
	б) дежурный персонал	руб	979 822
	в) дневной персонал	Руб.	2 971 392
	г) вспомогательные рабочие	Руб.	112 800
5	Социальное страхование:		3 476 261
	а) производственные рабочие	Руб.	2 017 310
	б) дежурный персонал	Руб.	351 756
	в) дневной персонал	Руб.	1 066 730
	г) вспомогательные рабочие	Руб.	40 495

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный в представленной дипломной работе анализ свойств и назначение синтетических каучук, технологических процессов их производства позволили сделать вывод об основных направлениях развития рынка потребления каучуков различного назначения в отраслях промышленности.

Для обзора технологических процессов и технологических приемов по повышению качества и эффективности технологического процесса, в работе предложена технологическая схема производства изопренового каучука с использованием в технологии дегазации методом регулирования технологических параметров дегазации каучука в зависимости от изменения внешних параметров, обеспечивающих протекание реакции в аппарате. Это позволит повысить максимальное превращение полимеризата, следовательно, повысит качество продукта. Кроме того, изменения в конструкции мешалки и барботирования пара в аппарате, с одновременным перемешиванием полимеризата в аппарате, повышает интенсивность процесса. Следовательно, цель, поставленная в работе достигнута.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Айнштейн В. Г. Общий курс процессов и аппаратов химической технологии : учеб. для вузов. - 2002г. - 888 с.
2. Айнштейн Г. В. Общий курс процессов и аппаратов химической технологии : учеб. для вузов по спец. "Хим. Технология.- 1758г.-1 с
3. Александров И.А. Ректификационные и абсорбционные аппараты. 3-е изд. - 1978г. – 280 с.
4. Ахметов Т. Г. Химическая технология неорганических веществ : учеб. пособие для вузов. - 2002. – 687с.
5. Ахметов Т. Г. Химическая технология неорганических веществ : учеб. пособие для вузов. - 2002. - 532 с.
6. Баринов С. М. Толковый словарь по химии и химической технологии : основные термины : ок. 5500 терминов. - 1987г. - 526 с.
7. Басаков А.П. Библиографическое описание: Псевдоожигение. - 1991г. - 397с.
8. Безнадежных А.А. Руководство к практическим занятиям в лаборатории процессов и аппаратов химической технологии : учеб. пособие для вузов. - 1990г. - 270 с.
9. Беренгартен М.Г. Общий курс процессов и аппаратов химической технологии : учебник. – 2003г. - 1758 с.
10. Бондарева М. Г. Общая химическая технология : учеб. для вузов- 2004г. - 528 с.
11. Борисов Г.С. Основные процессы и аппараты химической технологии : пособие по проектированию : для хим.-технол. специальностей вузов- 1991г. - 493 с.
12. Гардашев Г.А. Физические методы интенсификации процессов химической технологии – 1990г. - 205с.

13. Гетерогенные процессы химической технологии : кинетика, динамика, явления переноса : межвуз. сб. науч. трудов – 1990г. - 132 с.
14. Гутник С.П. Расчет по технологии органического синтеза / С.П. Гутник, В.Е. Сосонко, В.Д. Гутман. –1988г. – 192 с.
15. Гороновский, И.Т. Краткий справочник по химии - 1962г. – 661 с
16. Гороновский И.Г. Краткий справочник по химии / И.Г. Гороновский, Ю.П. Назаренко, Е.Ф. Некряч. –1987г. – 828 с.
17. Говорова О.А. Свойства резиннаосновэтиленпропиленовых каучуков. Высшая школа – 1986г.- 94 с.
18. Григорьев Ю.А. Вопросы автоматизации процессов химической технологии. -1968 г. - 223 с.
19. Демиденко Н.Д. Моделирование и оптимизация тепломассообменных процессов в химической технологии -1991г. - 240 с.
20. Домашнев А.Д. Конструирование и расчет химических аппаратов. - 1961г. – 624 с.
21. Дорохов И.Н. Системный анализ процессов химической технологии: процессы полимеризации – 1991г. - 350 с.
22. Дытнерский И.Ю. Основные процессы и аппараты химической технологии. Пособие по проектированию. 2 изд. / И.Ю. Дытнерский, Г.С. Борисов, В.П. Брыков. – 1991г. – 496 с.
23. Закгейм А. Ю. Введение в моделирование химико-технологических процессов : учеб. пособие для вузов.- 1982г. - 288 с.
24. Касаткин, А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. 8-е изд. перераб.. – М.: Химия, 1961г. – 830 с.
25. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии : учеб. для студентов хим.-технол. специальностей вузов.- 1971г. - 784 с.
26. Касаткин А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии : учеб. для вузов – 2006г. - 750 с

27. Кафаров В.В. Математическое моделирование основных процессов химических производств : учеб.пособие-1991г. - 400 с.
28. Кирпичников Б.А. Химия и технология синтетического каучука. 3-е изд.- 1987 г.-65с.
29. Константинов В.А. Регенерация ионитов: теория процесса и расчет аппаратов-1990г. - 239 с.
30. Ксензенко В.И. Общая химическая технология и основы промышленной экологии.-2003г. - 328 с.
31. Курсовое проектирование по предмету «процессы и аппараты химической промышленности» - М.: «Высшая школа», 1983 г.
32. Кутепов А.М. Общая химическая технология : учеб.по специальностям хим. технологии и хим. машиностроения -1990г. - 520 с.
33. Латекс в технике / Ленинградское отделение Госхимиздата - 1962г. – 896 с.
34. Лебедев Н.Н. Химия и технология основного органического и нефтехимического синтеза. 4-е изд., перераб. и доп. / Н.Н. Лебедев. – 1988 г. – 590 с.
35. Лесохин Е.И. Теплообменники-конденсаторы в процессах химической технологии: моделирование, расчет, управление – 1990г. - 286 с.
36. Мельник Б.Д. Краткий инженерный справочник по технологии неорганических веществ : Графики и номограммы -1968г. - 431с.
37. Мухленов И.П. Основы химической технологии : учеб. для хим.-технол. специальностей вузов.-1991г. - 462 с
38. Мухленов И.П. Общая химическая технология : учеб.для вузов. Теоретические основы химической технологии – 1977г. –285 с.
39. Научно-исследовательские организации в области химии США, Англии, Италии, ФРГ, Франции и Японии : справочник. -1971г. - 422 с.
40. Никольский Б.Н. Справочник химика. 3-е изд., исправл. / Б.Н. Никольский – М.: Химия, 1971г.

41. Павлов К.Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. Изд. 10 К.Ф. Павлов, П.Г. Романков, А.А. Носков - 1987г. — 576 с.
42. Павлов К.Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии : учеб. пособие для студентов хим.-технол. специальностей вузов.— 1976г. - 552 с.
43. Патент РФ/ Больдырев А.П; Курочкин Л.М.; и др. / «Нижнекамскнефтехим» 1997г.
44. Плановский П. И. Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии : учеб. для вузов. — 1972г. - 493 с.
45. Позин М. Е. Физико-химические основы неорганической технологии : учеб. пособие для вузов.— 1985г. —382 с.
46. Полоцкий, Г. И. Автоматизация химических производств: Теория, расчет и проектирование систем автоматизации : учеб. пособие для вузов - 1982г. — 295
47. Протоdjяконов И. О. Динамика процессов химической технологии : учеб. пособие для студентов хим.-технол. специальностей вузов - 1984г. - 305с.
48. Романков П.Г. Гидромеханические процессы химической технологии.—1974г. — 287 с.
49. Романкова П. Г. Общие основы химической технологии : Разработка и проектирование технол. Процессов. - 1977г. - 502 с.
50. Романков П.Г. Справочник инженера-химика : пер. с 4-го англ. изд. — 1969г. - 504 с.
51. Романков П.Г. Теплообменные процессы химической технологии. 1982г. - 288 с.
52. Саутин С.Н. Мир компьютеров и химическая технология -1991г. - 142 с.
53. Серебряков Б.Р. Новые процессы органического синтеза — 1989г. - 399 с.

54. Соколова В.Н. Машины и аппараты химических производств / В.Н. Соколова – Л.: Машиностроение, 1982г.
55. Судакова Е.Н. Расчеты основных процессов и аппаратов нефтепереработки. 3-е изд. / Е.Н. Судакова. – М.: Химия, 1979г.
56. Технологический регламент производства бутадиен – альфаметилстирольных каучуков ООО «Тольяттикаучук».
57. Уткин О.В. Каскад реакторов смешения : метод.указания к лаб. работе по курсу "Общая химическая технология и основы промышленной экологии" -1990г. - 12 с.
58. Фролов В.Ф. Массообменные процессы химической технологии: (системы с дисперс. твердой фазой) – 1990г. - 384 с.
59. Фролов В.Ф. Процессы и аппараты химической технологии : учеб.для вузов. В 2 кн. Ч. 1. Теоретические основы процессов химической технологии. Гидромеханические и тепловые процессы и аппараты -1995г. - 400 с.
60. Юкельсон И.И. Технология основного органического синтеза. - 1968г – 119с.

ПРИЛОЖЕНИЕ
(графическая часть)