

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»
Институт химии и инженерной экологии
Кафедра «Химия, химические процессы и технологии»

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ Г.И. Остапенко
(подпись) (И.О. Фамилия)
« ____ » _____ 20 ____ г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломного проекта

Студент Малышев Андрей Игоревич

- 1. Тема:** «Модернизация блока полимеризации изопрена»
- 2. Срок сдачи законченного дипломного проекта** 16 июня 2016 г.
- 3. Исходные данные к проекту (работе):** Установка полимеризации изопрена.
- 4. Содержание текстового документа (перечень подлежащих разработке вопросов)** Аналитическая часть – кинетика и механизм полимеризации, Технологическая часть – характеристика сырья и готовой продукции, описание технологического процесса. Расчетная часть - материальный и тепловой баланс полимеризации изопрена. Расчет полимеризатора. Прочностной расчет полимеризатора. Расчет теплообменного оборудования. Экономическое обоснование предлагаемого проекта - Расчет годовой производственной мощности. Расчет капитальных вложений (инвестиций) по проектному варианту. Расчет эффективности и проектных решений. Безопасность и экологичность проекта- Описание рабочего места, оборудования и выполняемых технологических операций. Опасные и

вредные производственные факторы. Мероприятия по разработке безопасных условий труда.

5. Ориентировочный перечень графического и иллюстративного материала

5.1. Реакция полимеризации изопрена

5.2. Схема технологическая

5.3. Схема технологическая с точками КИП

5.4. Материальный и тепловой баланс полимеризации изопрена

5.5. Полимеризатор л.1

5.6. Полимеризатор л.2

5.7. Теплообменник

5.8. Осушитель

5.9 Техничко-экономические показатели

6. Консультанты по разделам

6.1 Техничко-экономическое обоснование

6.2 Безопасность и экологичность технического объекта

7. Дата выдачи задания «26» февраля 2016г.

Руководитель дипломного проекта

(подпись)

Ю.В. Чариков

(И.О. Фамилия)

Задание принял к исполнению

(подпись)

А.И. Малышев

(И.О. Фамилия)

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»
Институт химии и инженерной экологии
Кафедра «Химия, химические процессы и технологии»

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

_____ Г.И. Остапенко

(подпись)

(И.О. Фамилия)

« _____ » _____ 20 ____ г.

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

выполнения дипломного проекта

Студента Малышева Андрея Игоревича

по теме «Модернизация блока полимеризации изопрена».

Наименование раздела работы	Плановый срок выполнения раздела	Фактический срок выполнения раздела	Отметка о выполнении	Подпись руководителя
Введение	10.03.2016			
Аналитическая часть	20.03.2016			
Расчетно-технологическая часть	20.04.2016			
Экономическая часть	15.05.2016			
Безопасность и экологичность проекта	25.05.2016			
Нормоконтроль	05.06.2016			
Выполнение чертежей	01.06.2016			
Заключение	02.06.2016			
Предварительная защита	09.06.2016			
Оформление работы				

Руководитель дипломного
проекта

_____ (подпись)

Ю.В. Чариков

(И.О. Фамилия)

Задание принял к исполнению

_____ (подпись)

А.И. Малышев

(И.О. Фамилия)

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

Институт химии и инженерной экологии
Кафедра «Химия, химические процессы и технологии»
240801.65 «Машины и аппараты химических производств»

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

на тему «Модернизация блока полимеризации изопрена»

Студент(ка)	А.И. Малышев	
	(И.О. Фамилия)	(личная подпись)
Руководитель	Ю.В. Чариков	
	(И.О. Фамилия)	(личная подпись)
Консультанты	А.Е. Краснослободцева	
	(И.О. Фамилия)	(личная подпись)
	К.Ш. Нуров	
	(И.О. Фамилия)	(личная подпись)
Нормоконтроль	В.В. Петрова	
	(И.О. Фамилия)	(личная подпись)

Допустить к защите

Заведующий кафедрой _____
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия) (личная подпись)

« ____ » _____ 20 ____ г.

Тольятти 2016

АННОТАЦИЯ

Целью дипломного проекта является замена существующего реактора полимеризации изопренового каучука на более производительный, за счет применения более совершенной технологии перемешивания смеси, в результате чего происходит увеличение производительности. Пояснительная записка дипломного проекта, содержащая 121 листов, описывает кинетику и механизм полимеризации, описание технологического процесса и технологической схемы получения полиизопрена. Проект состоит из: введения; технологической схемы и её описания; кинетики процесса полимеризации и перспективы его развития; расчёта материального баланса полимеризатора; расчёта теплового баланса полимеризатора; анализа и расчёта блока полимеризации изопрен - изопентановой смеси; обоснования выбора и расчёта вспомогательного оборудования; анализа опасных и вредных факторов в процессе полимеризации изопрена, пути их устранения; расчёта экономической эффективности проектных решений; выводов и заключения; список использованных источников; приложения. Графическая часть дипломного проекта содержит: реакцию процесса полимеризации изопрен-изопентановой смеси; технологическую схему; материальный и тепловой баланс полимеризатора; сборочный чертёж полимеризатора с видами, разрезами на двух листах; сборочный чертёж теплообменного аппарата; чертеж осушителя; таблицу технико-экономических показателей. Отличительной особенностью проекта является идея модернизации блока полимеризации изопрен-изопентановой смеси, за счет установки более эффективного теплообменного оборудования, с увеличенной поверхностью теплообмена и установкой нового, более производительного, полимеризатора с более эффективным перемешивающим устройством. В приложениях к записке представлены девять листов формата А1 графической части, а также спецификация.

Объем: 121 с. Ил.: 1. Табл.: 29. Библиогр.: 23 назв.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
1 КИНЕТИКА И МЕХАНИЗМ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ.....	8
1.1 Полимеризация высокомолекулярных соединений.....	8
1.2 Каталитическая полимеризация.....	10
1.3 Механизм процесса каталитической полимеризации.....	11
1.4 Развитие представлений о полимеризационных процессах.....	13
1.5 Новые пути синтеза полимера.....	16
1.6 Природный каучук.....	18
1.7 Синтетический каучук.....	19
2. ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ПОЛУЧЕНИЯ ПОЛИИЗОПРЕНА.....	23
2.1 Описание технологического процесса.....	23
2.2 Описание технологической схемы.....	29
2.2.1 Отделение полимеризации.....	29
2.2.2 Полимеризация изопрена в изопентане.....	31
2.2.3 Оборудование процесса теплообмена.....	32
2.2.4 Общая характеристика производства.....	33
3 РАСЧЕТ ПОЛИМЕРИЗАТОРА.....	41
3.1 Расчет материального баланса полимеризации.....	41
3.2 Расчет теплового баланса полимеризации.....	45

3.3 Технологический расчет полимеризатора.....	48
3.3.1 Исходные данные для расчета полимеризатора.....	48
3.3.2 Предварительный расчет.....	51
3.3.3 Уточненный расчет полимеризатора.....	52
3.4 Прочностной расчет полимеризатора.....	56
3.4.1 Расчет обечайки нагруженной внутренним избыточным давлением....	56
3.4.2 Расчет диаметра одиночного отверстия, не требующего дополнительного укрепления, в месте врезки штуцеров в цилиндрическую обечайку.....	58
3.4.3 Расчет фланцевого соединения полимеризатора.....	59
4 РАСЧЕТ ТЕПЛООБМЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ.....	69
5 БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ ПРОЕКТА.....	78
5.1 Характеристика технологического объекта.....	78
5.2 Идентификация профессиональных рисков.....	79
5.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков.....	83
5.4 Обеспечение пожарной безопасности технического объекта.....	84
5.4.1 Идентификация опасных факторов пожара.....	84
5.4.2 Разработка технических средств и организационных мероприятий по обеспечению пожарной безопасности технического объекта.....	86
5.4.3 Организационные (организационно-технические) мероприятия по предотвращению пожара.....	88
5.5 Обеспечение экологической безопасности технического объекта.....	90
5.5.1 Идентификация экологических факторов технического объекта.....	90

5.5.2 Разработанные организационно-технические мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия технического объекта на окружающую среду.....	91
6 ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ.....	96
6.1 Описание производства и маркетинговый анализ.....	96
6.2 Расчет годовой производственной мощности.....	97
6.3 Расчет капитальных вложений	98
6.4 Организация труда рабочих.....	99
6.5 Заработная плата рабочих.....	102
6.6 Расчет годового фонда заработной платы ИТР.....	104
6.7 Расчет себестоимости продукции.....	108
6.8 Расчет расходов на содержание и эксплуатацию оборудования.....	108
6.9 Расчет цеховых расходов.....	109
6.10 Расчёт экономической эффективности проектных решений.....	112
6.11 Вывод.....	114
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	115
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	116
ПРИЛОЖЕНИЕ А-Спецификация полимеризатора	

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время значение каучука в народном хозяйстве весьма велико, и по мере развития техники оно всё более и более возрастает. Специфические свойства каучука – способность к большим обратимым деформациям (эластичность), сохранение прочности при различных деформациях – сжатии, растяжении (усталостная прочность), большая стойкость к действию весьма активных химических веществ, малая водо- и газонепроницаемость, хорошие диэлектрические (изоляционные) свойства и другие обусловили исключительно широкое применение каучука в виде резиновых изделий в различных областях техники. Исключительные упругие свойства натурального каучука обусловлены, как известно, большой длиной и высокой гибкостью его линейных макромолекул, что в свою очередь зависит от своеобразной структуры полиизопреновой цепи (1-4 цис-конфигурация) и особенно благодаря возможности вращения вокруг ординарных связей, смежных с двойной связи в цепи [2]. Синтетические каучуки, подобные по свойствам натуральным каучукам удалось получить только после того, как были открыты процессы стереоспецифической полимеризации. Этот вид полимеризации начал развиваться около 100 лет назад. На основе новой техники полимеризации из диенов были получены синтетические каучуки с регулярной структурой (полиизопрен, полидивинил), которые не только не только обладают большей частью технически ценных свойств натурального каучука, но и превосходят его во многих отношениях. Некоторые из них совмещают в себе низкое теплообразование натурального каучука с высоким сопротивлением истиранию и хорошими показателями старения синтетических каучуков. Этим методом полимеризации, на основе новой техники, впервые был получен полиизопрен. 10 Изопреновый каучук СКИ впервые синтезирован в 1950 г., а в 1951- 1956 гг. разработана технология его производства. В 1957-1958 гг. в СССР был синтезирован новый синтетический изопреновый каучук СКИ-3 с применением комплексного катализатора типа Циглера. Синтез правильно построен-

ных цепей 1, 4-цис-полиизопрена, и тем самым получение синтетическим путем аналога натурального каучука, имеет не столько теоретическое, сколько практическое значение. Без каучука не может обойтись практически ни одна область техники. Автомобильный, железнодорожный, воздушный транспорт являются крупнейшими потребителями резиновых изделий (шин, резиновых шлангов, тормозных устройств и др.). В конструкции автомобиля и самолёта входят многие сотни резиновых, резинометаллических, и резинотканевых изделий. Огромное количество каучука расходуется в электротехнической промышленности. Очень важное значение в народном хозяйстве имеют резинотехнические изделия (транспортные прорезиненные ленты, гибкие резиновые шланги и рукава для транспортировки жидкостей или газов, прокладки, муфты, амортизаторы и др.). Совершенствование производства изопренового каучука направленно на повышение его коэффициента полезного действия, на более рациональное использование сырьевых и энергетических ресурсов, на увеличение надежности работы энергетических машин и технологических аппаратов, системы автоматизации и исполнительных механизмов. В этих условиях весьма актуальны исследования направленные на глубокую теоретическую проработку основных стадий производства изопренового каучука с помощью математического моделирования, а также оптимизацию уже действующих агрегатов.

1 КИНЕТИКА И МЕХАНИЗМ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ

1.1 ПОЛИМЕРИЗАЦИЯ ВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Полимеризация – реакция образования высокомолекулярного соединения (полимера) путем последовательного присоединения молекул низкомолекулярного вещества (мономера).

Полиизопрен. Синтетический полиизопрен - аналог натурального каучука. Полимеризацию изопрена и его сополимеризацию с другими мономерами проводят эмульсионным (латексным) способом в присутствии водорастворимых инициаторов. Иницирование с использованием окислительно-восстановительных систем (например, $\text{FeSO}_4 + \text{H}_2\text{O}_2$) позволяет вести полимеризацию даже при минус 20°C . Такие низкие температуры способствуют образованию полимеров более регулярного строения с высоким содержанием 1,4-*цис*-звеньев, обладающих хорошей разрывной прочностью, высокой эластичностью и разными ценными техническими свойствами. Регулярность строения полиизопрена может быть сильно увеличена при проведении полимеризации в растворе (например, в петролейном эфире) в присутствии металлического лития. Таким образом получают каучуки марки СКИ (Россия), "Коралл" (США). При использовании комплексных металлоорганических катализаторов Циглера-Натта получают СКИ-3 (Россия), "Америпол" (США). Каучуки марки СКИ превосходят по большинству характеристик натуральный каучук.

Сополимеризация смесей из 97-98 % изобутилена $\text{CH}_2=\text{C}(\text{CH}_3)_2$ и 2-3% изопрена при температуре около минус 90°C в среде этилена, пропилена или хлорметана в присутствии AlCl_3 приводит к образованию *бутилкаучука*, различающегося химической стойкостью, низкой газопроницаемостью и стойкостью к высоким температурам и старению. Из бутилкаучука производят автокамеры, надувные лодки, прокладки, клей, им футеруют (покрывают) химическую аппаратуру и т.д.

Основная составная часть каучуков - углеводород каучука (91-96%),

который рассматривают как полиизопрен $(C_5H_8)_n$ Каучук содержит также 2,2-3,8 % белков и аминокислот, 1,5-4,0 % веществ, извлекаемых ацетоном (так называемый ацетоновый экстракт - олеиновая, стеариновая, линолевая кислоты, каротин и др.), соединения металлов переменной валентности - меди (до 0,0008 %), марганца (до 0,001 %), железа (до 0,01 %), песок и некоторые др. примеси. Каучуки относятся к стереорегулярным полимерам; 98-100 % звеньев изопрена в его макромолекуле присоединены в положении 1,4 цис.

Молекулярная масса каучука 1 400 000 - 2 600 000, содержание двойных связей в макромолекуле 95-98,5% от теоретического значения.

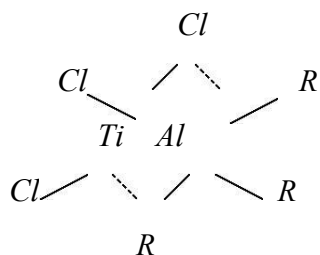
Плотность 0,91-0,92 г/см³, показатель преломления 1,5191, температура стеклования от минус 70 до минус 72°C, удельная теплоёмкость 1,880 кДж/(кг * К), теплопроводность 0,14Вт/(м*К), диэлектрическая проницаемость при частоте 1 кГц – 2,37-2,45, удельная электропроводность $25,7 \cdot 10^{-18} \text{ ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$.

Каучук устойчив к действию воды; хорошо растворим в бензоле, толуоле, ксилоле, бензине, четырёххлористом углероде, хлороформе, сероуглероде, циклогексане. При температурах выше 10°C каучук аморфен. Долгое хранение при более низких температурах или растяжение при комнатной температуре вызывают частичную кристаллизацию каучука. К числу главных свойств каучуков относится его высокая когезионная прочность. Этим свойством обусловлена в значительной степени незаменимость каучуков в производстве некоторых деталей шин. Технологический недостаток каучуков, связанный с его высокой молекулярной массой, - необходимость пластикации перед введением ингредиентов резиновой смеси.

1.2 КАТАЛИТИЧЕСКАЯ ПОЛИМЕРИЗАЦИЯ

Этот вид полимеризации вызывается катализаторами, к числу которых в производстве синтетического каучука относятся щелочные металлы (калий, натрий, литий), хлористый алюминий, а также подобные им вещества, способные в условиях реакции образовывать ионы – электрически заряженные частицы, возникающие из атомов или групп атомов при потере или присоединении электронов.

Четыреххлористый титан $TiCl_4$, соединяясь с триизобутилалюминием, восстанавливается до трех- или двухвалентного, образуя с алюминийалкилом нерастворимый кристаллический комплекс [24, стр. 57]:



Рост полимерной цепи происходит путем присоединения молекул мономера по связи между алюминием и углеродом. Как показывают кинетические кривые полимеризации изопрена в толуоле в присутствии каталитического комплекса оптимальное соотношение $Al : Ti = 1 \pm 0,05$ [24, стр. 174]

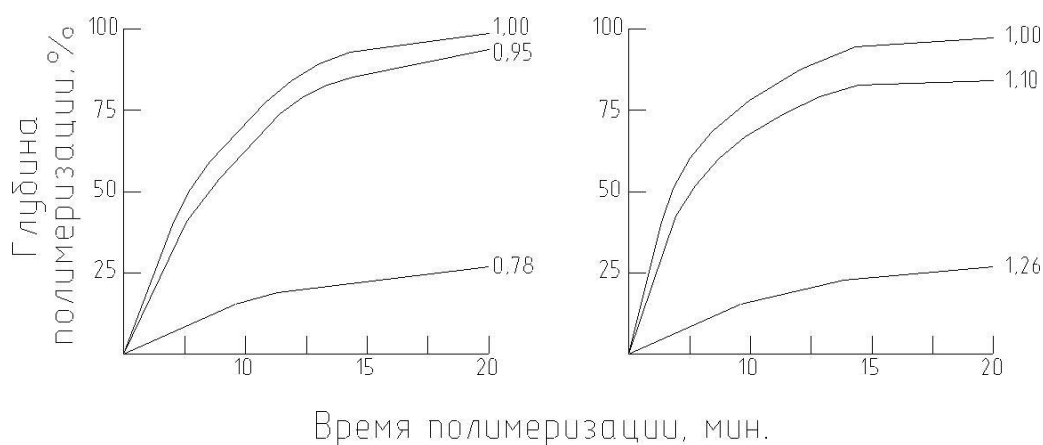


Рисунок 1-Кинетические кривые полимеризации изопрена при различных составах каталитического комплекса

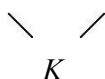
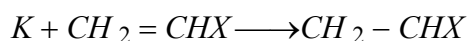
(на кривых показано мольное соотношение $Al(изо - C_4 H_9)_3 : TiCl_4$)

К мономерам, способным полимеризоваться по механизму каталитической полимеризации, относятся бутадиен, изопрен, и другие вещества.

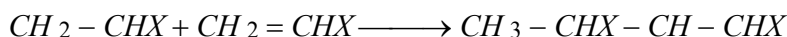
1.3 МЕХАНИЗМ ПРОЦЕССА КАТАЛИТИЧЕСКОЙ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ

Образование активного комплекса катализатора с олефином [24, стр.

132]:



Образовавшееся нестойкое комплексное соединение реагирует со следующей молекулой олефина и т.д., что приводит к росту полимерной цепочки [24, стр. 132]:



Одной из особенностей каталитической полимеризации является большая скорость реакций.

Скорость процесса полимеризации, состав, строение и свойства полимера зависят от ряда факторов.

К числу основных факторов, влияющих на процесс полимеризации, относятся следующие:

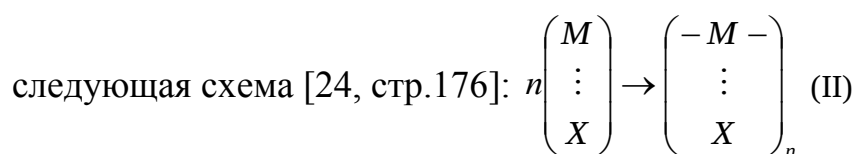
- химическая природа исходного мономера;
- концентрация мономера в реакционной среде;
- характер катализатора или инициатора;

– температура и давление процесса.

Химическая природа исходного мономера определяет возможность его активации, и следовательно, рост цепи макромолекулы полимера.

Увеличение концентрации мономера в реакционной среде, температуры процесса и давления увеличивает скорость полимеризации – количество полимера, образующегося в единицу времени. Чем ниже температура полимеризации и концентрация катализатора (или инициатора), тем медленнее протекает процесс полимеризации и тем самым выше в большинстве случаев молекулярный вес образующегося полимера. С увеличением концентрации мономера в растворе молекулярный вес полимера увеличивается. Наличие в мономере вредных примесей, способных взаимодействовать с возбудителями реакции, резко замедляет реакцию и ухудшает свойства полимера.

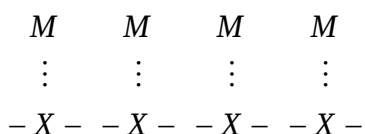
Превращения мономера M в полимер $nM \rightarrow Mn$ (I) никак не отражает взаимодействия молекул M и Mn со средой. Если это взаимодействие сильное, то введение в термодинамические и кинетические уравнения коэффициентов активностей, как это обычно делают в случае сравнительно слабых взаимодействий, теряет смысл. Наиболее целесообразно выглядит



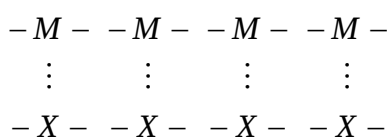
где X — частица или совокупность частиц комплексообразователя, взаимодействующих с молекулой мономера и со звеньями макромолекулы. Взаимодействие между молекулами M , звеньями $-M-$ и частицами X способно кардинально влиять на механизм реакции.

В отличие от чистого мономера его комплексу в ряде случаев "разрешено" полимеризоваться с образованием соответствующего комплекса полимера. Развиваемое В. А. Каргиным и В. А. Кабановым направление в области полимеризации открывает большие перспективы для моделирования синтеза полимерных цепей в живых клетках. Представим себе, что частицы X

в схеме химически связаны в длинные цепи, т. е. образуют макромолекулы. Тогда молекулы мономера выстраиваются вдоль заранее синтезированных полимерных "матриц" [24, стр. 176]:



Мономер можно выбирать так, чтобы реакционно-способными оказались только молекулы M , которые будут образовывать связи со звеньями X . Тогда на каждой цепи Xn "вырастает" новая цепь Mn :



Ученым удалось найти реальные системы (винил-пиридин + поликислоты), в которых самопроизвольно при комнатной температуре протекают реакции подобного типа. Макромолекулы поликислот выполняют функции полимерных каталитических "шаблонов".

1.4 РАЗВИТИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ О ПОЛИМЕРИЗАЦИОННЫХ ПРОЦЕССАХ

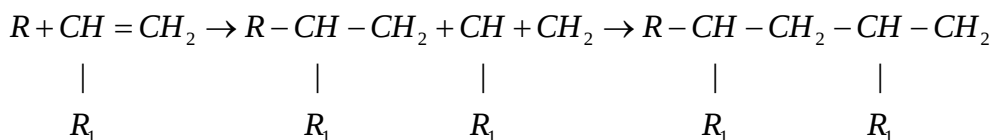
Наряду с выяснением вопросов кинетики и механизма отдельных реакций полимеризации проходили также исследования и более общего характера, они охватывали результаты изучения многих реакций полимеризации и представляли уже обобщенные, определенные теоретические концепции. Наиболее удачными из них первоначально оказались те, которые при- мыкали к цепной теории, может быть потому, что этой теории особенно "повезло". Ведь ученые принимали самое активное участие в создании основ цепной теории и уже в 20-х годах фактически стали лидерами в этой области.

Идеи о приложении теории цепных реакций к явлениям полимеризации впервые были озвучены в 30-х годах одновременно несколькими исследователями. Н.Н.Семенов поднял этот вопрос в своей книге, вышедшей в 1934г. После этого, наряду с отдельными работами, к

систематическим исследованиям в этой области приступили С. С. Медведев и работники, которые, в основном, экспериментально подтвердили представления о развитии полимеризационных цепей через свободные радикалы, при этом детально изучили начальный акт полимеризации – инициирование.

В дальнейшем изучение реакции инициирования стало взаимосвязано с исследованиями реакционной активности радикалов и мономеров (Н.Н. Семенов, Х.С. Багдасарьян, А.Д. Абкин). В изучении процессов инициирования радикальной полимеризации, кроме С. С. Медведева и его сотрудников, принимали участие еще многие советские ученые. Наиболее частые исследования в этом направлении проводил Б.А.Долгоп্লоек, открывший явление окислительно-восстановительного инициирования радикальных процессов. Полученные им результаты позволили ученым оперировать широкой гаммой различных инициаторов радикальной полимеризации, дифференцирование применять их в соответствии с их активностью, осуществлять полимеризацию даже в тех случаях, когда она казалась невозможной (например, виниловые эфиры + радикалы с не спаренным электроном у углерода).

С.С. Медведев показал, что весь процесс полимеризации, инициированной свободными радикалами, проходит при помощи последних, растущая цепь полимера является свободным радикалом. Образование полимера происходит из-за взаимодействия свободного радикала с двойной связью мономера [24, стр. 191]:



Характер роста цепи определяет структуру полимерной молекулы. Исследования Б. А. Долгоп্লоска, А. А. Короткова, А. Л. Клебанского и других, главным образом ленинградских ученых, позволили точно определять

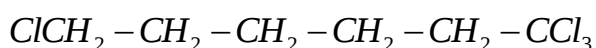
тип присоединения мономеров к растущей цепи при радикальной, а в равной мере и при ионной полимеризации, что немаловажно в решении задачи воссоздания натурального каучука.

С середины 50-х годов появилось новое и, как выяснилось, очень важное направление исследований, также связанное с радикальным ростом, или, в большей степени, с формированием полярной макромолекулы. В результате детального изучения полимеризационных процессов оказалось, что наряду с более или менее изученными реакциями имеет место ряд дополнительных, вторичных реакций, в которых принимает участие уже сформировавшаяся цепь полимера. Эти вторичные процессы зачастую существенно изменяют структуру и свойства полимеров. Старт этому направлению исследований был положен работами С. Е. Бреслера, С. Я. Френкеля и работников, которые установили "аномально" сложные мультимодальные молекулярно-весовые распределения образцов полимеров и объяснили это удвоением и утроением молекулярных весов отдельных групп молекул вследствие вторичных реакций.

Сущность вновь открытого элементарного акта состоит в том, что растущий полимерный активный центр атакует "готовую" или растущую макромолекулу по "закону случая" в любом месте цепи с образованием новой макромолекулы и нового активного центра.

Если при передаче цепи с разрывом растущий активный центр отличается по химическому составу от атакующей макромолекулы, то образуется блок-сополимер.

Одним из основных практических следствий успешных работ в области изучения радикальных процессов является теломеризация — преднамеренный обрыв роста цепи с целью синтеза "теломеров" — соединений содержащих активные группы по обоим концам молекулы, например [24, стр. 195]:



В начале 50-х годов к разработке методов синтеза этих необходимых

бифункциональных производных с использованием теломеризации приступил большой коллектив ученых Академии наук СССР и Государственного института азотной промышленности под руководством А. Н. Несмеянова и Р. Х. Фрейдлиной.

При работе были изучены как сами процессы теломеризации их кинетика, механизм реакций, так и химические превращения полученных продуктов, а на их основе новых волокнистых материалов.

Если о теории радикальной полимеризации теперь можно говорить как о самостоятельном разделе цепной теории, или как о единой концепции, при этом такой, которая в значительной степени создана трудами советских ученых, то применительно к ионной полимеризации этого не скажешь.

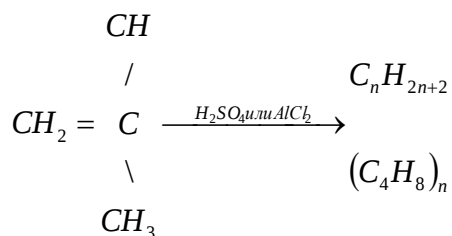
Единой теории ионной полимеризации пока не существует.

По всей видимости можно лишь утверждать, что она начала формироваться, подобно теории радикальной полимеризации, как ветвь более общих кинетических теорий, а именно теории кислотно-основного катализа Бренстеда – Лоури – Дэвис – Измайлова и цепной теории.

1.5 НОВЫЕ ПУТИ СИНТЕЗА ПОЛИМЕРОВ

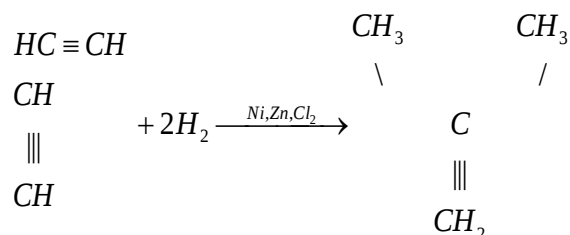
Учеными были открыты принципиально новые методы синтеза полимеров, отличающиеся не только своей практической значимостью, но и оригинальностью путей получения продуктов.

Детальное изучение открытых С. С. Наметкиным и Л. Н. Абакумовской реакций гидродегидрополимеризации [24, стр. 197]:



имело большое значение для осуществления очистки нефтяных дистиллятов, получения синтетических смазочных масел и полимерных продуктов посредством серной, фосфорной кислот и других катализаторов.

К этому же относятся весьма интересные реакции гидродимеризации, открытые в 1942 г. А. Д. Петровым и Л. И. Анцус [24, стр. 197]:

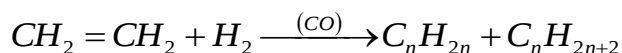


Я.Т.Эйдус, Н.Д.Зелинский и работники открыли реакции гидроконденсации и гидрополимеризации олефинов.

Изучая механизм синтезов на основе окиси углерода и водорода, авторы экспериментально доказали важную роль метиленовых радикалов в формировании цепи предельных углеводородов: $n\text{CH}_2 \text{ — } \text{C}_n\text{H}_2$.

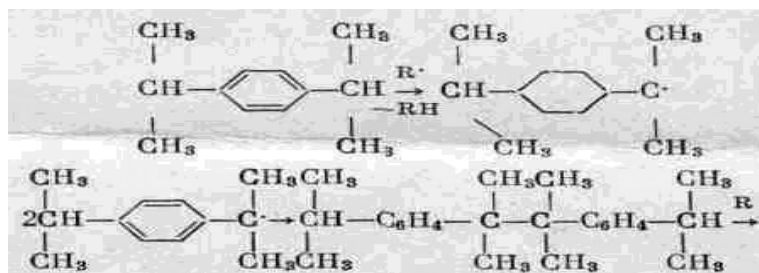
На этом основании был сделан вывод, что этилен, прибавленный к исходной смеси, должен включаться в процесс полимеризации метиленовых радикалов. Проверка подтвердила эту гипотезу и привела к открытию новой реакции – каталитической гидроконденсации окиси углерода с олефинами.

Резкое уменьшение в исходных продуктах окиси углерода и водорода привело к открытию реакций гидрополимеризации олефинов [24, стр. 206]:



В ходе этих исследований дано первое экспериментальное доказательство радикально-цепного механизма синтезов на основе $\text{CO} + \text{H}_2$, при этом развитие цепей в данном случае осуществляется на поверхности — это плоские или закрепленные цепи.

Одним из новых оригинальных путей синтеза высокомолекулярных соединений явился метод полирекомбинации, открытый В. В. Коршаком, С. Л. Сосиным и сотрудниками [24, стр. 208]:



и т. д.

При молярном соотношении иницирующей перекиси к исходному углеводороду 2:1 молекулярный вес полимера достигает 10 000 и более.

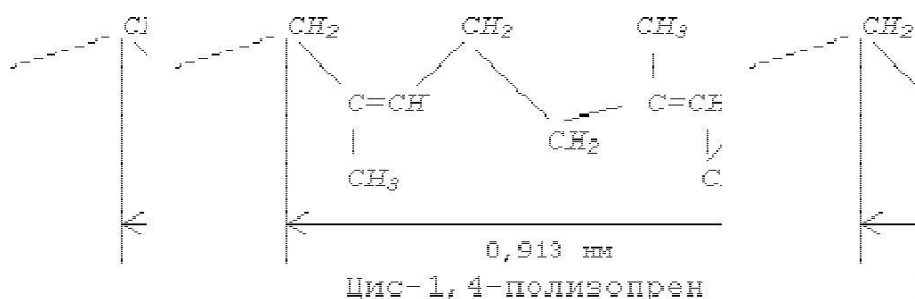
Благодаря использованию реакции полирекомбинации, в полимер могут быть превращены насыщенные углеводороды, эфиры и другие вещества, не способные полимеризоваться обычными путями.

1.6 ПРИРОДНЫЙ КАУЧУК

Натуральный (природный) каучук – это высокомолекулярный непредельный углеводород элементарного состава $(C_5H_8)_n$, его

относительная молекулярная масса колеблется в пределах 150000-500000.

Гидрирование каучука приводит к предельному углеводороду состава $(C_5H_{10})_n$, озонирование – к озониду $(C_5H_8O_3)_n$. Методом рентгеноструктурного анализа установлено цис-1,4-строение изопреноидной цепи, при котором метиленовые CH_2 -группы расположены по одну сторону от двойной связи [24, стр. 138]:



Макромолекула каучука имеет спиральное строение с периодом идентичности 0,913 нм и содержит более 1000 изопреновых остатков.

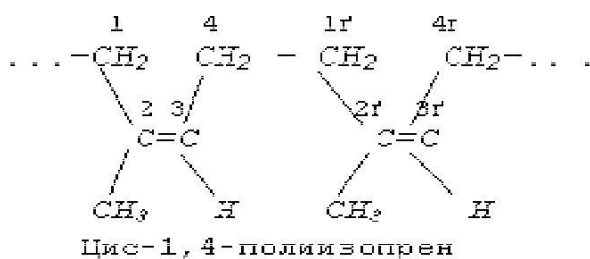
Строение макромолекулы каучука обеспечивает его высокую эластичность – весьма важное техническое свойство. Каучук обладает отличной способностью обратимо растягиваться до 900 % первоначальной длины.

Разновидностью каучука является не такая эластичная гуттаперча, или балата, – сок некоторых каучуконосных растений, растущих в Индии и на Малайском полуострове. В отличие от каучука молекула гуттаперчи короче и

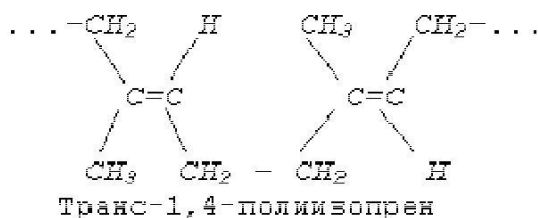
имеет транс- 1,4-строение с периодом идентичности 0,504 нм.

1.7 СИНТЕТИЧЕСКИЙ КАУЧУК

Сопряженные диеновые углеводороды при ионной полимеризации в зависимости от вида катализатора образуют различно построенные полимерные цепи. Различают два типа цепеобразования: цис-1,4, транс-1,4 и цис-1,2. Полимеризация изопрена в присутствии триалкилалюминия и хлорида титана (IV) приводит у цис-1,4-полимеру, в котором цис-построенные остатки диена связаны друг с другом в положении 1,4 [24, стр. 267]:



При полимеризации смешанным гидридом алюминия и щелочного металла в присутствии хлорида титана (IV) преобладает полимер транс-1,4-строения, в котором остатки трансдиена связаны в положении 1,4 [24, стр. 267]:

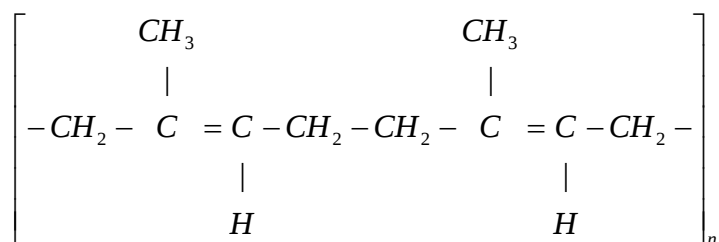


Диены с не концевыми двойными связями полимеризуются с трудом, так как пространственные препятствия затрудняют их адсорбцию на активных центрах катализатора.

Синтез каучука, происходящий в дереве, никогда не выполнялся в лаборатории. Синтетические каучуки являются эластичными материалами; они похожи с натуральным продуктом по химическим и физическим свойствам, но отличаются от него структурой [24], [23].

Синтез аналога натурального каучука (1,4 -*цис*-полиизопрена).
Натуральный каучук, получаемый из гевеи бразильской, имеет структуру,

состоящую на 97,8% из 1,4-*цис*-полиизопрена [24, стр. 26 9]:



Синтез 1,4-*цис*-полиизопрена проводился несколькими различными путями с использованием регулирующих стереоструктуру катализаторов, и это позволило наладить производство различных синтетических эластомеров. Катализатор Циглера состоит из триэтилалюминия и четыреххлористого титана; он заставляет молекулы изопрена объединяться (полимеризоваться) с образованием гигантских молекул 1,4-*цис*-полиизопрена (полимера) [23]. Аналогично, металлический литий или алкил- и алкиленлитиевые соединения, например бутиллитий, служат катализаторами полимеризации изопрена в 1,4-*цис*-полиизопрен. Реакции полимеризации с этими катализаторами проводятся в растворе с использованием углеводородов нефти в качестве растворителей. Синтетический 1,4-*цис*-полиизопрен обладает свойствами натурального каучука и может использоваться как его заместитель в производстве резиновых изделий.

По прогнозам в области крупнотоннажного производства синтетических каучуков общего назначения велика вероятность создания принципиально новых типов полимеров чрезвычайно мала, что придает особую актуальность исследованиям, цель которых является повышение качества существующих производств. Одним из наиболее эффективных и экономически целесообразных способов, позволяющих улучшить технологические свойства каучуков, является их химическая модификация. В процессе модификации удастся сохранить основной комплекс свойств полимера, характеризующий его индивидуальность, и, вместе с тем, придать ему новые качества, позволяющие существенно расширить область применения материала. Модификация может осуществляться как на стадии синтеза, выделения полимеров, так и непосредственно в процессе переработки в

изделия. Современные исследования в области модификации эластомеров включают многочисленные научные разработки способов химических превращений полидиенов. С целью улучшения свойств синтетических каучуков применялись разнообразные модифицирующие реагенты, обеспечивающие введение в макромолекулы полярных функциональных групп: гидроксильных, карбоксильных, карбамидных, эпоксидных, нитрозоаминных и др.

Однако, несмотря на многообразие возможных химических превращений полидиенов, выбор типа реакций, подходящих для промышленной реализации, является не простой задачей. К модифицирующим объектам предъявляется комплекс технических, экономических и экологических требований. Из всех исследованных до сих пор способов модификации, в большей степени отвечающим необходимым критериям, перспективным для промышленной реализации признаны эпоксидирование, хлорирование, гидрохлорирование, модификация азотсодержащими гетероциклами в сочетании с фенолом.

С целью расширения спектра реакций, отвечающих предъявляемым к модификации каучуков общего назначения, были исследованы реакции олефинов с азотистой кислотой и ее производными и разработан эффективный способ модификации ненасыщенных карбоцепных полимеров водным раствором нитрита натрия и минеральными кислотами: фосфорной, фосфористой и соляной. Предложенная модифицирующая система обеспечивает введение в субстрат нитро, оксимных групп и хлора в различных качественном и количественном сочетаниях в зависимости от условий проведения процесса. Реакции детально изучены на примере 2-метилбутена-2. Установлено, что направление и эффективность протекания реакции определяется природой кислоты, молярным соотношением реагентов, временным и температурным режимом взаимодействия. При дозировании кислоты к смеси олефина и водного раствора нитрита натрия в количестве, эквивалентном нитриту, состав продуктов реакции практически не зависит от

природы кислоты и включает 2-метил-2-нитрозо-3-нитробутан, 2-метил-3-нитробутен-2, 2-метил-3-нитробутен-1. Проведение реакции в избытке кислот фосфора обеспечивает повышение селективности процесса относительно 2-метил-3-нитробутена-1.

Применение избытка соляной кислоты увеличивает степень конверсии олефина за счет дополнительного образования 2-метил-2-хлор-3-нитробутена-2, изолирующегося в соответствующий оксим.

Модификация цис-1,4-полиизопрена водным раствором нитрита натрия в кислой среде проводилась в процессе его получения с использованием катализатора Циглера-Натта. Изучено три варианта предложенного способа, отличающегося последовательностью стадий в технологической схеме синтеза изопренового каучука. Применение модифицирующей системы на стадии дезактивации каталитического комплекса приводит к получению каучука с высокой когезионной прочностью до 2,7 МПа, но уступающего серийному СКИ-3 по пластоэластическим свойствам: отмечается повышение эластического восстановления и снижение пластичности. Изучена модификация полимеризата цис-1,4-полиизопрена после дезактивации катализатора метанолом и последующей водной отмывки. Определены оптимальные условия проведения процесса: дозировка нитрита 1% масс. на повторяющееся звено полиизопрена, молярное соотношение реагентов в модифицирующей системе 1:1 при использовании кислот фосфора и с двукратным избытком соляной кислоты относительно нитрита.

Молекулярная масса каучука $255 \cdot 10^3$, $765 \cdot 10^3$, пластичность 0,35-0,4, эластическое восстановление 1,3-1,8, характеристическая вязкость 3,6-3,9 дл/г. Зависимость «деформация-напряжение» для саженнаполненных резиновых смесей из модифицированного эластомера имеет участок самоупрочнения, что характерно для натурального каучука. Это явление связано с усилением взаимодействия каучука с наполнителем и протеканием кристаллизации при растяжении полимера.

Разработан технологический процесс модификации цис-1,4-

полиизопрена в присутствии продуктов разложения каталитического комплекса и метанола. Каучук с лучшими свойствами получен при дозировке нитрита натрия 1% мас., применение соляной кислоты в молярном соотношении нитрит кислота 1:2, температура 50°C, времени реакции 30 минут. Указанные условия были рекомендованы для проведения промышленных испытаний, в результате которых выпущено 11 тонн модифицированного каучука с молекулярной массой $M_n 175 \cdot 10^3$, $M 639 \cdot 10^3$, пластичностью 0,37-0,47, пластическим восстановлением $1,3 \cdot 1,7$.

Модифицированный каучук, полученный в промышленных условиях, испытан в различных рецептурах резиновых смесей, в том числе бреккерных. Показано, что когезионная прочность модифицированных резиновых смесей превосходит этот показатель в серийных образцах. Вулканизаты отличаются повышенной термостабильностью, в $1,2 \cdot 1,6$ раза превосходит серийные по значению напряжения при относительном удлинении 300, 500 %.

2 ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ПОЛУЧЕНИЯ ПОЛИИЗОПРЕНА

2.1 ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

Синтез правильно построенных цепей 1,4 – цис – полиизопрена, и тем самым получение синтетическим путем аналога натурального каучука, имеет большое теоретическое и практическое значение. Поэтому в последние годы в ряде стран развернулась работа по совершенствованию процесса синтеза.

Последние десятилетия характеризуются большими успехами в области синтеза высокоэластичного каучука.

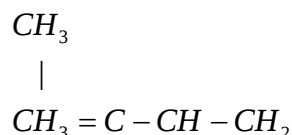
В России и в США производятся, полученные синтетическим путем, изопреновые каучуки 1–4. К числу таких синтетических полиизопренов относятся: СКИ (Россия) и каучук «коралл» (США), получаемые полимеризацией с применением лития в качестве катализатора, америпол SN, «натсин» (США) и *цис*-полиизопрен СКИ – 3 (Россия), синтезированные с

помощью комплексных катализаторов типа Циглера.

Совершенствование технологии обычно предусматривает повышение производительности конечного продукта, в данном случае – это полиизопрен, но в результате снижения затрат на подготовительные стадии, снижение расходов веществ, участвующих в реакциях, отводится не столь важная роль.

Залог успеха в проектировании основных процессов лежит в модернизации и совершенствовании вспомогательных производств.

В производстве полиизопренового синтетического каучука основным вспомогательным участком является узел приготовления изопентан – изопреновой шихты.



Молекула изопрена $\text{CH}_3 = \text{C} - \text{CH} - \text{CH}_2$ представляет собой основной структурный элемент натурального каучука. Изопентан – углеводород состава C_5H_{12} , имеющий температуру кипения около 28°C и плотность $0,62\text{г/см}^3$.

Синтез правильно построенных цепей 1, 4 – цис – полиизопрена, и тем самым получение синтетическим путем аналога натурального каучука, имеет большое теоретическое и практическое значение. Поэтому в последние годы в ряде стран развернулась работа по совершенствованию процесса синтеза.

Основные компоненты изопентан – изопреновой шихты:

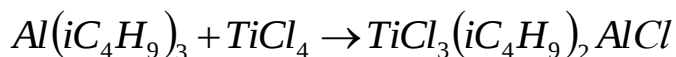
Изопентан – изопреновая шихта представляет собой смесь из мономеров – изопрена и изопентана, с соотношением веществ 1/5,67, то есть изопрена 15 %, а изопентана 85 %, но помимо этого она содержит менее 1 % воды и примесей, которая впоследствии удаляется из смеси.

Изопрен, 2 – метилбутадиен – 1,3 – бесцветная жидкость, с температурой кипения около 34°C ; температура плавления минус $146,86^\circ\text{C}$.

Плотность при 20 ° С – 0,6805 г/см³ . Предел взрываемости с воздухом 1,7 – 11,5 % (объемных).

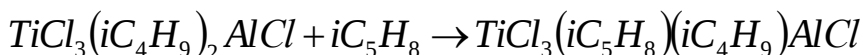
Получение высокомолекулярного полиизопрена не менее 96 % цис – 1,4 звеньев и обладающего определенным комплексом молекулярных характеристик, осуществляется в растворе изопентана в присутствии каталитической системы на основе триизобутилалюминия и четыреххлористого титана.

Полимеризация изопрена протекает на активных центрах нерастворимого каталитического комплекса при взаимодействии ТИБА и четыреххлористого титана [24, стр. 17]:

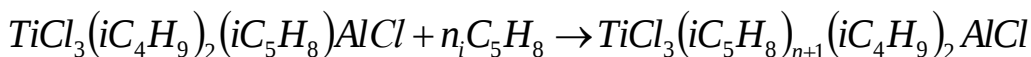


Реакцию полимеризации можно представить в виде трех элементарных стадий:

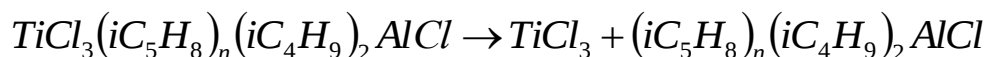
Зарождение активных центров полимеризации при взаимодействии активных центров катализатора с мономером [24, стр. 17]:



Рост полимерных цепей при взаимодействии активных центров полимеризации с мономером [24, стр. 18]:



Прекращение роста полимерных цепей с регенерацией активных центров полимеризации с мономером [24, стр. 18]:



Необходимый комплекс технических свойств полимера обеспечивается условиями приготовления катализатора, чистотой используемых мономера и растворителя, технологическим режимом проведения процессов полимеризации изопрена, выделения и сушки каучука.

Максимальный выход полимера наблюдается в присутствии катализатора, полученного при строгом эквимолекулярном соотношении алюминия и титана.

При избытке $TiCl_4$ превалируют процессы катионной полимеризации, приводящие к образованию нерастворимого полимера.

Катализатор, полученный при соотношении $(Al \div Ti) > 1$ приводит к образованию значительных количеств олигомерных продуктов - циклических и линейных димеров (тримеров) изопрена.

Выход олигомеров возрастает также с повышением температуры полимеризации и увеличением времени пребывания полимеризата в аппаратах при высокой температуре.

Присутствие олигомеров в полиизопрене приводит к снижению прочности и эластичности его вулканизатов, ухудшению технологических свойств полиизопрена, снижению производительности червячных агрегатов.

Введение определенных электронно-донорных добавок в каталитическую систему значительно повышает ее активность, способствует повышению молекулярной массы полиизопрена, уменьшению количества геля в полимере.

Основными показателями технологического режима процесса полимеризации являются температура, дозировка катализатора, время пребывания реакционной массы в системе.

Повышение температуры, увеличение дозировка катализатора и времени пребывания в реакторе вызывает снижение молекулярной массы полиизопрена.

Предпочтительным является такой режим полимеризации, когда реакционная масса находится в системе минимальное время при дозировке катализатора, обеспечивающей заданную степень конверсии изопрена.

Температура процесса является основным фактором, с помощью которого регулируется средняя молекулярная масса полимера, пластичность, вязкость по Муни.

В случае необходимости значительного снижения показателя пластичности в систему полимеризации дополнительно вводится

газообразный водород.

На кинетику полимеризации изопрена, микроструктуру и физико-механические свойства полимера вредное влияние оказывают примеси соединений различных классов.⁴

Наличие примесей



в составе компонентов каталитического комплекса отрицательно сказывается на ходе процесса полимеризации.

Наиболее неблагоприятное действие оказывают хлорокись титана и хлористый водород, образующиеся при соприкосновении галогенида титана с влагой воздуха: $TiCl_4 + HON \rightarrow TiOCl_2 + 2HCl$

Эти примеси резко снижают молекулярный вес каучука и ухудшают прочностные свойства его вулканизатов. Присутствие в тетрахлориде титана 0,4 мол. % HCl замедляет процесс полимеризации, 0,01 – 0,05 мол. % $SiCl_4$ вызывает снижение прочности вулканизатов при повышенной температуре, 0,02 – 0,06 мол. % CCl_4 приводит к уменьшению содержания 1,4-дис-звеньев.

Наиболее сильным каталитическим ядом для полимеризации является циклопентадиен (ЦПД). Наличие ЦПД приводит к значительному индукционному периоду и замедлению процесса полимеризации.

Для процесса полимеризации в присутствии ацетиленистых углеводородов характерно увеличение индукционного периода и снижение молекулярной массы образующегося полимера.

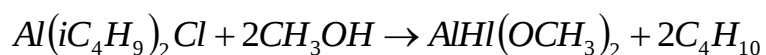
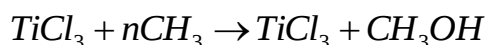
Присутствие кислородосодержащих соединений значительно снижает скорость полимеризации и приводит к снижению характеристической вязкости, увеличению геля - фракции.

После проведения процесса полимеризации до заданной конверсии изопрена, осуществляется дезактивация каталитического комплекса, заключающаяся в разрушении катализатора и удалении его из системы или

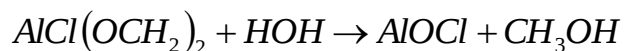
перевод в неактивное состояние.

Деактивация каталитического комплекса осуществляется введением специальных реагентов, имеющих в своем составе реакционноспособный кислород или азот содержащие группы (метанол, органические кислоты, фенолы, амины).

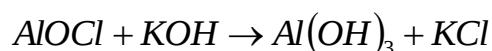
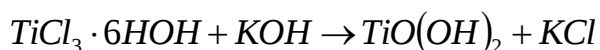
При этом протекают следующие реакции [24, стр. 21]:



Водно-растворимые продукты разрушения катализатора удаляются из полимеризата водной отмывкой.



При нейтрализации щелочью.



С целью предохранения на стадиях его выделения и переработки от окисления и деструкции в каучук вводится один из стабилизаторов: «Нафтам-2», дифенилпарафенилендиалин, диафон-13, ВТС-60, паранитрозофениламин или их смеси.

Выделение полимера из дезактивированного полимеризата осуществляется отгонкой растворителя с водяным паром.

С целью регулирования образования при дегазации крошки каучука в систему вводится стеарат кальция.

Недостаточная дозировка стеарата кальция может привести к забивке дегазаторов вследствие слипания крошки.

Время пребывания и температуры в дегазаторах должны быть достаточными для удаления остатков мономера, растворителей, олигомеров.

Сушка каучука производится с целью удаления из него влаги, остатков растворителя, а также низкомолекулярных продуктов полимеризации

осуществляется или в воздушных сушилках или червячно-отжимных сушильных агрегатах.

Часть полученного полимера на стадии полимеризата или весь полимер подвергается модификации.

Процесс модификации заключается в химическом присоединении к полимерным молекулам паранитрозодифениламина (ПНДФА), вводимого в виде водного раствора его натровой соли.

Модифицированный каучук марки СКИ-3-01 и СКИ-3-01 М отличаются от не модифицированного полиизопрена высоким значением прочности не вулканизированных резиновых смесей и по этому показателю приближается к натуральному каучуку.

2.2 ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ

2.2.1 Отделение полимеризации

Осушенная изопентан-изопреновая шихта анализируется на содержание изопрена с помощью хроматографа, далее при помощи холодильника охлаждается рассолом.

Охлаждение рассола в холодильниках поз. 88/I,II, 88/III,IV производится за счёт испарения жидкого пропана, принимаемого из цеха ИП-3 в сепараторы поз. 88a/I и 88a/II.

Предусмотрена возможность приёма жидкого пропана в холодильники (поз. 88/I-IV). Уровень в сепараторах поз. 88a/I,II выдерживается регуляторами поз. 8154 и поз. 817, клапаны которых установлены на линиях приема жидкого пропана в сепараторы.

Пары пропана из холодильников поз. 88/ I,II поступают в сепараторы поз. 88a/I, а из холодильников поз. 88/III,IV поступают в сепараторы поз.88a/II.

В сепараторах происходит отделение жидкого пропана, уносимого с парами.

Пары пропана после сепараторов поз. 88a/ I,II через регуляторы

давления поз. 8476 и поз. 8477 соответственно выводятся в цех ИП-3 на компримирование.

Температура рассола шихты после холодильников поз.88/I,II и поз. 88/III,IV регулируется давлением газообразного пропана на выходе из сепараторов поз.88a/ I,II с коррекцией по температуре шихты.

Осушенная и очищенная изопентан-изопреновая шихта из осушителя поз. 89 или, минуя его, поступает в сборник поз. 80, откуда насосом поз. 81 через холодильник поз. 1/1,2 или, минуя его, подается на полимеризацию.

Охлаждение шихты, подаваемой на полимеризацию, производится за счет испарения жидкого пропана, принимаемого из цеха ИП-3 в сепаратор поз. 88a/V.

В случае кратковременной остановки предусмотрена возможность подачи изопентан-изопреновой шихты от насоса поз. 81 в колонну поз. 256 или поз. 249/1 отделения приготовления шихты.

Емкость поз. 80 находится под давлением азота. Регулирующий клапан поз. 8167 установлен на линии подачи азота в емкость. Для защиты аппаратов установки азеотропной осушки, очистки, и охлаждения шихты от завышения давления установлены предохранительные клапаны, сброс от которых направлен в сборник-сепаратор поз. 225. Сброс от предохранительных клапанов, защищающих межтрубное пространство холодильников поз. 88 направлен в атмосферу.

2.2.2 Полимеризация изопрена в изопентане

Полимеризация изопрена в изопентане производится в последовательно соединенных полимеризаторах поз. 98 (батарея) в присутствии каталитического комплекса, образующегося при взаимодействии триизобутилаллюминия с четыреххлористым титаном.

Полимеризационная батарея состоит из 3-х полимеризаторов. Процесс полимеризации осуществляется при температуре в первом полимеризаторе до минус 40°C и интенсивном перемешивании, для чего каждый полимеризатор снабжён мешалкой.

Изопентан-изопреновая шихта поступает в первый по ходу процесса полимеризатор поз. 98. В этот же аппарат насосом поз. 87 из аппарата поз. 405 подается суспензия каталитического комплекса в толуоле.

Процесс полимеризации протекает с выделением тепла (около 250 ккал на 1 кг вступившего в реакцию изопрена). Температура полимеризации поддерживается предварительным охлаждением шихты и дозировкой каталитического комплекса.

Часть тепла отводится циркулирующим через рубашки полимеризаторов рассолом (раствор хлористого кальция в воде).

Количество шихты, подаваемой в батарею, выдерживается регулятором расхода поз. 8006, клапан которого установлен на линии подачи шихты на каждую батарею. Дозировка каталитического комплекса выдерживается клапаном поз. 8267, установленным на линии подачи каталитического комплекса на каждую из батарей. Регулирование пластичности полимера в заданных пределах производится изменением температурного режима в первом полимеризаторе.

Полимеризат из одного аппарата в другой, перетекает за счет давления, создаваемого насосами, подающими шихту и каталитический комплекс.

Для промывки забившихся участков трубопроводов, а также для индивидуальной подготовки полимеризаторов к ремонту и чистке имеется специальная разводка шихты.

Для защиты полимеризаторов поз. 98 от завышения давления на аппаратах установлены разрывные мембраны.

Сброс от предохранительных клапанов производится в ёмкость поз. 110.

После полимеризации изопентан-изопреновой шихты полимеризат идет на дезактивацию каталитического комплекса и заправляется антиоксидантами в смесителях поз.105.

2.2.3 Оборудование процессов теплообмена

Почти во всех процессах, где в качестве продукта реакции получается парогазовая смесь, первым этапом разделения ее на отдельные компоненты является конденсация. Таким путем выделяют главную массу способных конденсироваться в данных условиях веществ, затем как газ, так и конденсат подвергают более тонкой обработке для выделения технически чистых веществ.

В ряде случаев конденсация используется для более или менее четкого разделения (например, коксового газа, газов нефтепереработки, а также для разделения на фракции различных реакционных газов). При этом могут использоваться два приема: дробная конденсация и конденсация с отпаркой.

При дробной конденсации применяется обычная аппаратура, но устанавливается система последовательно расположенных конденсаторов, в которых поддерживается различная температура. Конденсация с отпаркой требует специального оборудования — конденсационно - отпарных колонн.

Следует отметить, что аппаратура для конденсации является частным случаем теплообменной аппаратуры.

Типы теплообменных аппаратов:

Как известно, теплообменные аппараты по принципу действия делятся на три группы:

- 1) рекуперационные – передача тепла осуществляется через стенку аппарата;
- 2) регенерационные – передача тепла осуществляется путем

непосредственного контакта с предварительно нагретой или охлажденной поверхностью;

3) смесительные – передача тепла происходит при непосредственном контакте теплоносителей,

В производствах основного органического синтеза (ООС) и синтетического каучука (СК) преимущественно применяются аппараты первого и третьего типов. Что касается регенерационных теплообменников, то они главным образом используются в качестве реакторов, например для термокрекинга метана и других углеводородов на ацетилен.

Особым типом теплообменной аппаратуры являются конденсационно-отпарные колонны, в работе которых обычно сочетаются принципы рекуперации и смешения.

Для высокотемпературных процессов широкое применение находят теплообменные аппараты с огневым нагревом, в частности трубчатые печи. В процессах пиролиза углеводородов они выполняют роль реакторов.

2.2.4 Общая характеристика производства

Производство изопренового каучука из изопрена, получаемого дегидрированием изопентана осуществлялась в цехах ИП-5, ИП-6 завода №3 Закрытого акционерного общества «Тольяттисинтез»

Проект производства выполнен ОАО «Каучукнефтехимпроект» г. Новокуйбышевск в 1962 году.

Выпуск каучука начат в 1968 году. Достигнута мощность 120 000 т/год. В 1993 года из-за экономических трудностей завод №3 был законсервирован.

В 2001 году принято решение начать расконсервацию оборудования и оборудованию и осуществить и осуществить пуск цехов группы «ИП» на производство каучука, мощностью 75 000 т/год.

Производство изопренового каучука состоит из следующих стадий:

- приготовление изопентан-изопреновой шихты и азеотропная осушка её;

- полимеризация изопрена в изопентане;
- дезактивация каталитического комплекса и заправка полимеризата антиоксидантами;
- отмывка полимеризата от продуктов разрушения каталитического комплекса умягченной воды;
- водяная дегазация полимеризата;
- выделение, сушка, упаковка каучука.

Вспомогательные стадии процесса:

- приём, хранение и подача каталитического комплекса;
- прием, хранение и подача на дезактивацию метанола;
- приготовление раствора антиоксидантов;
- приём умягченной воды и подачу ее на отмывку;
- конденсация углеводородов, отмывка возвратного растворителя (изопентан-изопреновая фракции);
- извлечение метанола из промывных вод;
- регенерация осушителей;
- отпарка органики из отработанной воды;
- азеотропная осушка толуола;
- прием парового конденсата и передача его в заводскую сеть;
- приготовление суспензии антиагломератора (стеарата кальция);
- очистка отработанного воздуха, поступающего из аппаратов А-703 установки ЛК-8 и передача его на сжигание в печах цеха ИП-2.

Характеристика производимой продукции

Синтетический каучук изопреновый (СКИ), представляет собой полимер с содержанием звеньев 1,4 цис не менее 96 %.

Структурная формула:



|

$(-CH_2 - C = CH - CH_2 -)_n$, $(iC_5H_8)_n$ – эмпирическая формула

Изопреновый каучук получается полимеризацией изопрена в изопентане в присутствии каталитического комплекса и представляет собой эластичную, однородную, монолитную массу.

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

Плотность: 0,91 – 0,92 мг/м³

Температура воспламенения: 290°C

Температура самовоспламенения: 320°C

Таблица 1-Каучук СКИ-3 ГОСТ 14925-79 с изменениями №1,2,3,4,5,6,7

Наименование показателей	Нормы для марок					
	СКИ-3 высшего сорта			СКИ-3 первого сорта		
	1 группа	2 группа	3 группа	1 группа	2 группа	3 группа
1	2	3	4	5	6	7
1. Вязкость по Муни МБ 1+4 (100 С)	75-85	65-74	55-64	75-85	65-74	55-64
2. Разброс по вязкости внутри партии	8	8	8	8	8	8
3. Пластичность	0,3-0,35	0,36-0,41	0,42-0,48	0,3-0,35	0,36-0,41	0,42-0,48
4. Разброс по пластичности внутри партии, не более	0,05	0,05	0,06	0,06	0,08	0,08
5. Эластичное восстановление после определения пластичности, мм, не более	1,8	1,7	1,5	2,0	1,9	1,6

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7
6.Условная прочность при растяжении, МПа (кгс/см ²), не менее: при 23 С при 100 С	30,4(310) 21,6(220)	30,4(310) 21,6(220)	29,4(300) 20,6(210)	29,4(300) 20,6(210)	28,4(290) 19,6(200)	28,4(290) 19,6(200)
7.Относительное удлинение при разрыве, %, не менее:	800	800	750	700	700	700
8.Массовая доля золы, % не более	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6
9.Массовая доля водорастворимой части золы, % не более	-	-	-	-	-	-
10.Массовая доля металлов, %, не более:						
Меди	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Железа	0,004	0,004	0,004	0,005	0,005	0,005
Титана	0,06	0,06	0,06	0,07	0,07	0,07
11.Потери массы при сушке, % не более	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
12.Массовая доля стеариновой кислоты, %	0,6-1,4	0,6-1,4	0,6-1,4	0,6-1,4	0,6-1,4	0,6-1,4
13.Массовая доля антиоксидантов, %: Дефинил-п-фенилдиамина (ДФФД), не менее	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
Или диафена-13	0,30-0,50 0,20-0,40 0,35-0,55 0,8			0,30-0,50 0,20-0,40 0,35-0,55 0,8		
Или С-789						
Или ВТС-60						
Или АФА-1						
не менее						

Примечание:

1. Показатель пластичности (группу по пластичности) и эластическое восстановление после определения пластичности определяют по требованию потребителя взамен вязкости по Муни.
2. Допускается изготавливать для шинной промышленности каучук СКИ-3 2 группы высшего и первого сорта с потерей массы при сушке не более 0,8 %.

Таблица 2-Каучук СКИ-3ЛК ТУ38.103478-80 с изменениями №1,2,3,4,5,6,7

Наименование показателя	Нормы по сортам	
	Высший	Первый
1	2	3
Вязкость по Муни МБ 1+4 (100С)	55-64	40-100
Разброс вязкости по Муни внутри партии, не более	8	20
Потери массы при сушке, %, не	1,0	3,0
Массовая доля стеариновой кислоты, %	0,6-1,4	-
Массовая доля антиоксиданта, %:		
Дифенил-п-фенилендиамин (ДФФД)	0,20-0,30	-
Или диафен-13	0,30-0,50	-
Или С-789	0,20-0,40	-
Или ВТС-60	0,40-0,70	-

Таблица 3-Требование на исходные компоненты для процесса полимеризации

Норма для изопрена	Изопрен из изобутилена		Изопрен из изопентана	
	Высший сорт	1 сорт	Высший сорт	1 сорт
1	2	3	4	5
1.Внешний вид	Бесцветная или желтоватая жидкость			
2.Массовая доля изопрена, %, не менее	99	99	97	96.5
3.Массовая доля Σ бутенов и пентенов, %, не более	1,0	1,0	3,0	3,5
4.Массовая Доля пиперилионов, %, не более	0,02	0,02	0,02	0,02
5.Массовая Доля циклопентадина (ЦПД), %, не более	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
6.Массовая доля α - ацетиленовых углеводородов, %, не более	0,0002	0,0003	0,0002	0,0002
7.Массовая доля карбонильных соединений, %, не более	0,0003	0,002	0,0003	0,002
8.Массовая доля сернистых, соединений, %, не более	0,0002	0,0003	0,0002	0,0003
9.Массовая доля метилала, %, не более	0,0008	0,0010	-	-
10.Массовая доля метилтретбутилового эфира (МТБЭ), %, не более	0,0001	-	-	-
11.Массовая доля ингибитора%, не менее пара-трет-бутил- пирокатехина (ТБК) или древесносмоляного ингибитора(ДСИ)	0,005 0,01	0,005 0,01	0,005 0,01	0,005 0,01
12.Содержание нерастворенной Влаги	Отсут.	Отсут.	Отсут.	Отсут.

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4	5
13.Массовая доля перекисных соединений	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
14.Массовая доля метиленициклобутана, %, не более	Не нормируется, Определен	Не нормируется, Определен	Не нормируется, Определен	Не нормируется, Определен

Таблица 4-Изопентан - растворитель, ТУ-38.103415-78 с изменениями №1,2

Показатели качества, обязательные для проверки	Норма
1. Внешний вид	бесцветная прозрачная жидкость
2.Массовая доля изопентана	не менее 96,5%
3.Предельных углеводородов $C_2+C_3+C_4$	не более 2%
4.Нормального пентана	не более 2%
5.Тяжелого остатка (углеводородов C_6 и выше)	отсутствие
6.Циклопентадиена-ЦПД	не более 0,0001%
7.Серосодержащих соединений	не более 0,001%
8. α -ацетиленовых соединений	не более 0,00025%
9.карбонильных соединений	не более 0,0003%
10. Бромное число, г бром/100 г	не более 0,2
11. Показатель водородных ионов водной вытяжки	7,0-7,5
12. Массовая доля влаги	не более 0,001%

Изопентан должен удовлетворять требованиям пробной полимеризации изопрена дилатометрическим методом на 2-х компонентном катализаторе. При этом время полупревращения изопрена - не более 20 минут, 90 % – ное превращение - не более 1,0 часа при расходе катализатора, а пересчете на $TiCl_4$ - 0,5 % на изопрен.

Таблица 5-Осушенная изопентан-изопреновая шихта (после поз.256)

Показатели качества	Норма
Содержание, % массовых:	
изопрена	13-18 %
влаги	не более 0,0005
изоамиленов	не более 20

Период полупревращения при дозировке катализатора 0,6 % - не более 15 минут.

Таблица 6-Толуол нефтяной, согласно ГОСТ 14710-78 с изменениями 1,2,3,4,5

Показатели качества	Норма
1.Внешний вид	прозрачная жидкость, не содержащая посторонних примесей и воды, не темнее раствора $K_2Cr_2O_7$ концентрации 0,003 г/дм ³ .
2.Плотность при 20 ° С	толуол высшей категории качества 0,865-0,867 г/см ³ первой категории качества 0,864-0,867 г/см ³
3.Пределы перегонки	98 % объёма перегоняется в пределах температур, С не более 0,7-0,8
4.Массовая доля толуола	% не менее высшей категории качества 99,75 первой категории качества 99,6
5.Массовая доля примесей	% не более 0,25 и 0,4
6.Неароматических углеводородов	0,1 и 0,2
7.Бензола	0,1 и 0,15
8.Ароматических углеводородов С8	0,05 для высшей категории качества
9.Испаряемость	без остатка
10.Массовая доля общей серы	не более 0,00015 %

Каталитический комплекс

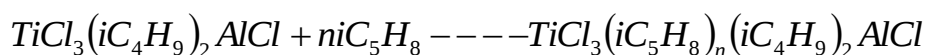
Массовая концентрация каталитического комплекса в растворе толуола, г/л – 90-155. Период полупревращения изопрена при дозировке четырехкомпонентного катализатора 0,6 % масс., не более – 15 минут;

3 РАСЧЕТ ПОЛИМЕРИЗАТОРА

3.1 РАСЧЕТ МАТЕРИАЛЬНОГО БАЛАНСА ПОЛИМЕРИЗАЦИИ

Полимеризация протекает на активных центрах нерастворимого каталитического комплекса, образующегося при взаимодействии ТИБА и четыреххлористого титана.

Суммарное уравнение процесса полимеризации изопрен – изопентановой смеси в полимер [2, стр.14]:



Степень превращения: $\eta = 98,0\%$

Мольные массы входящих в реакции веществ:

$M(iC_4H_9)_2$	114	кг/моль
$M(AlCl)$	62,43	кг/моль
$M(iC_5H_8)$	68,119	кг/моль
$M(TiCl_3)$	154,259	кг/моль

Мольные массы компонентов реакции:

Каталитического комплекса:

$$M_{(TiCl_3)(iC_4H_9)_2AlCl} = M_{(TiCl_3)} + M_{(iC_4H_9)_2} + M_{(AlCl)} = 154,259 + 62,43 + 114 = 330,689 \text{ кг/моль}$$

Изопрен-изопентановая смесь: $M_{(iC_5H_8)} = 68,119 \text{ кг/моль}$

Треххлористый титан: $M_{(TiCl_3)} = 154,259 \text{ кг/моль}$

$$\begin{aligned} \text{Полимер: } M_{(iC_5H_8)n(iC_4H_9)_2AlCl} &= n \cdot M_{(iC_5H_8)} + M_{(iC_4H_9)_2} + M_{(AlCl)} = \\ &= 4800 \cdot 68,119 + 114 + 62,43 = 327148 \text{ кг/моль} \end{aligned}$$

Степень полимеризации изопрена [2, стр.14]: $n = 4800$

Материальный баланс рассчитывается на 475200 тонн/год продукта, что составляет 55000 кг/час.

$$m_{(iC_5H_8)n(iC_4H_9)_2AlCl} = 55000 \text{ кг/час}$$

Вход реагентов каталитического комплекса с учетом степени полимеризации:

$$m_{(TiCl_3)(iC_4H_9)_2AlCl} = M_{(TiCl_3)(iC_4H_9)_2AlCl} \cdot m_{(iC_5H_8)n(C_4H_9)_2AlCl} \div \div M_{(iC_5H_8)n(iC_4H_9)_2AlCl} = 330,689 \cdot 55000 \div 327148 = 55,59 \text{ кг/час}$$

(3.1)

Мольный расход каталитического комплекса:

$$n_{(TiCl_3)(iC_4H_9)_2AlCl} = m_{(TiCl_3)(iC_4H_9)_2AlCl} \div M_{(TiCl_3)(iC_4H_9)_2AlCl} = 55,59 / 330,689 = 0,168 \text{ кмоль/час}$$

(3.2)

Весовой расход изопрен-изопентановой смеси с учетом степени полимеризации:

$$m_1 = n \cdot M_{(iC_5H_8)} \cdot m_{(iC_5H_8)n(iC_4H_9)_2AlCl} \div M_{(iC_5H_8)n(iC_4H_9)_2AlCl} = 4800 \cdot 68,119 \cdot 55000 / 327148 = 54970,34 \text{ кг/час}$$

(3.3)

Весовой расход изопрен-изопентановой смеси с учетом степени превращения:

$$m_{(iC_5H_8)} = (m_1 \cdot (1 - \eta)) + m_1 = (54970,34 \cdot (1 - 0,98)) + 54970,34 = 56069,75 \text{ кг/час}$$

(3.4)

Мольный расход изопентан-изопреновой смеси:

$$n_{(iC_5H_8)} = m_{(iC_5H_8)} \div n \cdot M_{(iC_5H_8)} = 56069,75 \div 4800 \cdot 68,119 = 0,1715 \text{ кмоль/час}$$

(3.5)

Общее количество реагентов:

$$m_{\text{ex}} = m_{(TiCl_3)(iC_4H_9)_2AlCl} + m_{(iC_5H_8)} = 55,59 + 56069,75 = 56125,3 \text{ кг/час}$$

(3.6)

$$n_{\text{ex}} = n_{(TiCl_3)(iC_4H_9)_2AlCl} + n_{(iC_5H_8)} = 0,168 + 0,1715 = 0,3395 \text{ кмоль/час}$$

(3.7)

Выход реагентов

Мольный расход полимера:

$$\begin{aligned} n_{(iC_5H_8)n(iC_4H_9)2AlCl} &= m_{(iC_5H_8)n(iC_4H_9)2AlCl} \div M_{(iC_5H_8)n(iC_4H_9)2AlCl} = \\ &= 55000 \div 327148 = 0,1681 \text{ кмоль/час} \end{aligned} \quad (3.8)$$

Весовой расход, не вступившей в реакцию изопрен-изопентановой смеси:

$$m_2 = m_{(iC_5H_8)} - m_1 = 56069,75 - 54970,34 = 1099,41 \quad (3.9)$$

Мольный расход, не вступившей в реакцию изопрен-изопентановой смеси:

$$n_2 = m_2 \div M_{(iC_5H_8)} - m_1 = 1099,41 \div 68,119 = 16,139 \text{ кмоль/кг} \quad (3.10)$$

Весовой расход треххлористого титана:

$$\begin{aligned} m_{(TiCl_3)} &= m_{(iC_5H_8)n(iC_4H_9)2AlCl} \cdot M_{(TiCl_3)} \div M_{(iC_5H_8)n(iC_4H_9)2AlCl} = \\ &= 55000 \cdot 154,259 / 327148 = 25,934 \text{ кг/час} \end{aligned} \quad (3.11)$$

Мольный расход треххлористого титана:

$$n_{(TiCl_3)} = m_{(TiCl_3)} \div M_{(TiCl_3)} = 25,934 \div 154,259 = 0,1681 \text{ кмоль/час} \quad (3.12)$$

Общее количество продуктов:

$$\begin{aligned} m_{BbIX} &= m_{(iC_5H_8)n(iC_4H_9)2AlCl} + m_2 + m_{(TiCl_3)} = 55000 + 1099,41 + \\ &+ 25,934 = 56125,34 \text{ кг/час} \end{aligned} \quad (3.13)$$

$$n_{BbIX} = n_{(iC_5H_8)n(iC_4H_9)2AlCl} + n_2 + n_{(TiCl_3)} = 0,1681 + 16,139 \quad (3.14)$$

Процентное содержание реагентов % (вес.)

Количество каталитического комплекса:

$$X_{(TiCl_3)(iC_4H_9)_2AlCl} = m_{(TiCl_3)(iC_4H_9)_2AlCl} \cdot 100 \div m_{\text{блх}} =$$

$$= 55,59 \cdot 100 \div 56125,3 = 0,10\%$$

(3.15)

Количество изопрен-изопентановой смеси:

$$X_{(iC_5H_8)} = m_{(iC_5H_8)} \cdot 100 \div m_{\text{блх}} = 56069,75 \cdot 100 \div 56125,3 = 99,90\%$$

(3.16)

Процентное содержание продуктов % (вес.)

Количество треххлористого титана:

$$X_{(TiCl_3)} = m_{(TiCl_3)} \cdot 100 \div m_{\text{блх}} = 25,934 \cdot 100 \div 56125,34 = 0,046\%$$

(3.17)

Количество не вступившей в реакцию изопрен-изопентановой смеси:

$$X_2 = m_2 \cdot 100 \div m_{\text{блх}} = 1099,41 \cdot 100 \div 56125,34 = 1,959\%$$

(3.18)

Количество полимера:

$$X_{(iC_5H_8)n(iC_4H_9)_2AlCl} = m_{(iC_5H_8)n(iC_4H_9)_2AlCl} \cdot 100 \div m_{\text{блх}} =$$

$$= 55000 \cdot 100 \div 56125,34 = 97,995\%$$

(3.19)

Сводная таблица полученных в результате расчета данных:

Таблица 1-Вход реагентов

Наименование веществ	Формула вещества	Мольная масса, кг/моль	Состав, % (вес.)	Поток, кг/ч
Каталитический комплекс	$TiCl_3(iC_4H_9)_2AlCl$	330,689	0,10	55,59
Изопрен-изопентановая смесь	iC_5H_8	68,119	99,90	56069,75
Суммарный расход ($Q_{\text{вх}}$)			100	56125,341
($Q_{\text{вых}}$)				

Таблица 2-Выход продукта

Наименование веществ	Формула вещества	Мольная масса, кг/моль	Состав, % (вес.)	Поток, кг/ч
Изопрен-изопентановая смесь	iC ₅ H ₈	68,119	1,959	1099,41
Треххлористый титан	TiCl ₃	154,259	0,046	25,934
Полимер	(iC ₅ H ₈) _n (iC ₄ H ₉) ₂ AlCl	327148	97,995	55000
Суммарный расход (Q _{ВЫХ})			100	56125,344

Расчет отклонения в материальном балансе полимеризации:

(3.20)

$$\eta = \left(\frac{Q_{\text{ВЫХ}} - Q_{\text{ВХ}}}{Q_{\text{ВЫХ}}} \right) \cdot 100\% = \left(\frac{56125,344 - 56125,341}{56125,341} \right) \cdot 100 = 5,34 \cdot 10^{-6}\%$$

3.2 РАСЧЕТ ТЕПЛОВОГО УЗЛА ПОЛИМЕРИЗАЦИИ

Количество теплового узла рассчитываем по формуле:

(3.21)

$$Q = c \cdot m \cdot T, \text{ где}$$

Q – количество теплоты, кДж/ч;

c – удельная теплоемкость вещества, кДж/ч;

m – расход вещества, кг/ч;

T – расход вещества, ч

Количество теплоты, поступающее с реагентами

Температура входа каталитического комплекса: $T_1 = 258,15^\circ K$

Температура входа изопрен - изопентановой смеси: $T_2 = 233,15^\circ K$

Удельная теплоемкость каталитического комплекса: [2, стр.261]

$$C_{\text{pl}} = 2,4816$$

Удельная теплоемкость изопрен – изопентановой смеси: [2, стр.261]

$$C_{p2} = 2,198 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

Количество теплоты поступающей с каталитическим комплексом:

$$Q_1 = C_{p1} \cdot m_{(TiCl_3)(iC_4H_9)_2AlCl} \cdot T_1 = 2,4816 \cdot 55,59 \cdot 258,15 = 35615,8 \frac{\text{кДж}}{\text{час}}$$

(3.22)

Количество теплоты поступающей с изопентан- изопреновой смесью:

$$Q_2 = C_{p2} \cdot m_{(iC_5H_8)} \cdot T_2 = 2,198 \cdot 56069,75 \cdot 233,15 = 2873371,54 \frac{\text{кДж}}{\text{час}}$$

(3.23)

$$\Delta Q_p = 1050 \frac{\text{кДж}}{\text{час}} \text{ изопрена}$$

Состав изопреновой смеси:

Изопентан $iC_5H_8 = 86,0\% \text{масс}$

Изопрен (2 метил бутадиен 1,3) $iC_5H_8 = 14,0\% \text{масс}$

Количество изопентана в смеси:

$$m_{iC_5H_{12}} = (m_{(iC_5H_8)} - m_2) \cdot 0,14 = (56069,75 - 1099,41) \cdot 0,14 = 7695,847 \frac{\text{кг}}{\text{час}}$$

(3.24)

Количество тепла выделяющееся в процессе реакции:

$$Q_p = \Delta Q_p \cdot m_{iC_5H_{12}} = 1050 \cdot 7695,847 = 8080639,98 \frac{\text{кДж}}{\text{час}}$$

(3.25)

Общее количество тепла выделяющееся с реагентами:

$$Q_{\text{вх}} = Q_1 + Q_2 + Q_p = 35615,8 + 2873371,54 + 8080639,98 = 36849967,31 \frac{\text{кДж}}{\text{час}}$$

(3.26)

Количество теплоты уходящее с продуктами реакции

Температура входа продуктов реакции: $T_3 = 318,15^\circ K$

Удельная теплоемкость треххлористого титана:

$$C_{p3} = 0,942 \frac{\text{кДж}}{\text{час} \cdot \text{K}}$$

Удельная теплоемкость полимера:

$$C_{p4} = 2,021 \frac{\text{кДж}}{\text{час} \cdot \text{K}}$$

Удельная теплоемкость изопентан - изопреновой смеси:

$$C_{p5} = 2,3439 \frac{\text{кДж}}{\text{час} \cdot \text{K}}$$

Количество теплоты уходящее с треххлористым титаном:

$$Q_3 = C_{p3} \cdot m_{\text{TiCl}_3} \cdot T_3 = 0,942 \cdot 25,934 \cdot 318,15 = 7772,349 \frac{\text{кДж}}{\text{час}} \quad (3.27)$$

Количество теплоты уходящее с полимером:

$$Q_4 = C_{p4} \cdot m_{(\text{iC}_4\text{H}_8)_n(\text{iC}_4\text{H}_9)_2\text{AlCl}} \cdot T_3 = 2,021 \cdot 55000 \cdot 318,15 = 35363963,3 \frac{\text{кДж}}{\text{час}} \quad (3.28)$$

Количество теплоты уходящее с изопентан-изопреновой смесью:

$$Q_5 = C_{p5} \cdot m_2 \cdot T_3 = 2,3439 \cdot 1099,41 \cdot 318,15 = 819842,99 \frac{\text{кДж}}{\text{час}} \quad (3.29)$$

Потери теплоты в окружающую среду составляют 5% от Q_{BX} :

$$Q_{\text{П}} = Q_{\text{BX}} \cdot 0,05 = 36849967,31 \cdot 0,05 = 1842498,36 \frac{\text{кДж}}{\text{час}} \quad (3.30)$$

Общее количество теплоты уходящее с реагентами:

$$Q_{\text{ВЫХ}} = Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_{\text{П}} = 7772,349 + 35363963,3 + 819842,99 + 1842498,36 =$$

$$= 38034076,96 \frac{\text{кДж}}{\text{час}}$$

(3.31)

Сводная таблица полученных в результате расчета данных:

Таблица 3-вход реагентов

Наименование веществ	Формула вещества	Температура, °К	уд. тепл. кДж/кг* °К	Поток, кг/ч	Количество теплоты, кДж
Каталитический комплекс	$\text{TiCl}_3(\text{iC}_4\text{H}_9)_2 \text{ AlCl}$	258,15	2,4816	55,59	35615,8
Изопрен-изопентановая смесь	iC_5H_8	233,15	2,198	56069,75	
Теплота реакции					8080639,98
Сумма					36849967,31

Расчет отклонения в материальном балансе полимеризации:

$$\eta = \left(\frac{Q_{\text{ВЫХ}} - Q_{\text{ВХ}}}{Q_{\text{ВЫХ}}} \right) \cdot 100\% = \left(\frac{38034076,96 - 36849967,31}{38034076,96} \right) \cdot 100 = 3,1\%$$

(3.32)

3.3 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ПОЛИМЕРИЗАТОРА

3.3.1 Исходные данные для расчета полимеризатора

Технологический расчет полимеризатора проводится двумя способами:

- 1) на основании эмпирических зависимостей;
- 2) с использованием математической модели процесса, содержащей уравнения, которые описывают скорости всех элементарных реакций например, для эмульсионной полимеризации: распад инициатора, иницирование, рост цепи полимера, обрыв цепи, передача цепи, повторное иницирование.

В математическую модель входят уравнения описывающие массо- и теплообмен, а также граничные условия.

Производительность линии полимеризаторов по сухому продукту принимаем равной:

$$M = 15,3 \text{ кг/сек} \sim 55000 \text{ кг/час};$$

Концентрация мономера в исходном продукте:

$$C_M = 0,84 \text{ массов. долей};$$

Время полимеризации:

$$\tau = 960 \text{ сек};$$

Степени превращения мономера:

$$\text{полная степень } K_m = 0,98;$$

$$\text{на входе в полимеризатор } K_{mH} = 0,8;$$

$$\text{на выходе из полимеризатора } K_{mK} = 1;$$

$$\text{Удельная теплота реакции } r = 59750 \text{ Дж/кг}$$

$$\text{Температура реакции } t_p = 40^\circ\text{C};$$

$$\text{Температура поступающих в полимеризатор компонентов } t_{PBX} = -25^\circ\text{C};$$

$$\text{Температура окружающего воздуха } t_{\text{возд}} = 28^\circ\text{C};$$

Температура хладагента:

$$\text{Средняя } t_x = -13^\circ\text{C};$$

$$\text{На входе в полимеризатор } t_{\text{ВВХ}} = -25^\circ\text{C};$$

$$\text{На выходе из полимеризатора } t_{\text{ВВЫХ}} = -10^\circ\text{C};$$

$$\text{Температура стенки полимеризатора } t_{\text{НАР}} = 18^\circ\text{C};$$

$$\text{Удельная теплоёмкость реакционной среды } C_p = 2102,5 \text{ Дж/кг} \cdot \text{с};$$

Удельная теплоёмкость хладагента при t_x

$$C_x = 1723 \text{ Дж/кг} \cdot \text{с};$$

Коэффициент теплопроводности реакционной среды

$$\lambda_p = 0,1389 \text{ Вт/м} \cdot \text{сек};$$

Коэффициент теплопроводности хладагента при t_x

$$\lambda_x = 0,23 \text{ Вт/м} \cdot \text{сек};$$

Плотность реакционной среды $\rho_p = 850 \text{ кг/м}^3$;

Плотность реакционной хладагента при t_x

$$\rho_x = 1483 \text{ кг/м}^3;$$

Кинематическая вязкость хладагента при t_x

$$\mu_x = 0,0069 \text{ Па} \cdot \text{с};$$

Кинематическая вязкость среды при рабочих параметрах t_p

$$\mu_p = 0,00024 \text{ Па} \cdot \text{с};$$

Динамическая вязкость среды при рабочих параметрах t_p

$$\nu_p = 0,0000002943 \text{ м}^2/\text{с};$$

Тепловая проводимость загрязнённого слоя

$$R_3 = 3000 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт};$$

Коэффициент теплопроводности аппарата

$$\lambda_p = 46 \text{ Вт/м} \cdot \text{сек};$$

Толщина стенки аппарата

$$S_{\Pi} = 0,012 \text{ м};$$

3.3.2 Предварительный расчет

Расчет рабочего объема полимеризатора [1, стр.23]:

$$V_{\text{РАБ}} = M \cdot \tau / \rho_p \cdot C_M \cdot K_{\text{мК}} = 15,3 \cdot 960 / 850 \cdot 0,84 \cdot 1 = 20,53 \text{ м}^3 \quad (3.33)$$

Поток тепла выделяющийся при проведении реакции [1, стр.25]:

$$\Phi_p = M \cdot r \cdot (K_{\text{мК}} - K_{\text{мН}}) = 15,3 \cdot 59750 \cdot (1 - 0,8) = 182835 \text{ Вт}; \quad (3.34)$$

Тепловой поток, расходуемый на нагрев или охлаждение исходных продуктов [1, стр.25]:

$$\Phi_3 = \frac{M}{C_M} \cdot C_p \cdot (t_p - t_{\text{ПВХ}}) = \frac{15,3}{0,84} \cdot 2102,5 \cdot (40 - (-25)) = 2489210 \text{ Вт} \quad (3.35)$$

Мощность затрачиваемая на перемешивание [1, стр.26]:

$$N = 0,2 \cdot \Phi_p = 0,2 \cdot 182835 = 36567 \text{ Вт}; \quad (3.36)$$

Тепловой поток, отводимый через теплопередающие поверхности [1, стр.27]:

$$\Phi_0 = \Phi_p - \Phi_3 + N = 182835 - 2489210 + 36567 = -2269808 \text{ Вт}; \quad (3.37)$$

Для расчета определяющего коэффициента задаемся объемом полимеризатора исходя из производительности:

$$V_{\text{П}} = 22 \text{ м}^3$$

Определяющий параметр (условный коэффициент):

$$\psi = \frac{\Phi_0}{V_{\text{П}} \cdot (t_p - t_x)} = \frac{-2269808}{22 \cdot (40 - (-13))} = 1946,66 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C}} \quad (3.38)$$

Выбор типа полимеризатора.

Полимеризатор выбирается в зависимости от производительности, времени полимеризации, удельной теплоты реакции, теплофизических свойств реакционной среды, температурного напора на теплопередающих поверхностях полимеризатора, особенностей протекания процесса полимеризации и требований, обеспечивающих получение конечного продукта необходимого качества.

По конструктивному исполнению тип полимеризатора может быть ориентировочно определен с помощью условного коэффициента (ψ)

При $\psi \geq 900$ рекомендуется применять полимеризаторы с развитой поверхностью теплообмена (двухвалковый, шнековый, коаксильно-лабиринтный, многодисковый или трубчатый), при $\psi < 900$ полимеризатор с перемешивающим или скребковым устройством.

Основываясь на вышеуказанных рекомендациях, т.к. условный коэффициент $\psi = 1946,66 > 900$, выбираем шнековый тип полимеризатора, объемом равным $V_{\text{пр}} = 22 \text{ м}^3$

3.3.3 Уточненный расчет полимеризатора.

Выбор типа мешалки и расчет мощность проводится в соответствии с РТМ 37-68 «Перемешивающие устройства механические. Выбор мешалок для перемешивания высоковязких сред».

Динамическую вязкость и плотность реакционной среды принимаем по конечной концентрации полимера в аппарате.

При заданном времени гомогенизации τ , частота вращения перемешивающего устройства n определяется из условий получения необходимого коэффициента теплопередачи.

Количество полимеризаторов в каскаде определяется исходя из

конструктивных и технологических требований, и принимаем равным:

$$Z_{\Pi} = 1 \text{ шт.}$$

Объем полимеризатора [1, стр.29]:

$$V_{\Pi} = \frac{V_{\text{РАБ}}}{Z_{\Pi}} = \frac{20,57}{1} = 20,57 \text{ м}^3 \quad (3.39)$$

Внутренний диаметр аппарата:

$$D = (0,8 \div 1,1) \cdot \sqrt[3]{V_{\Pi}} = 1,1 \cdot \sqrt[3]{20,57} = 3,014 \text{ м} \quad (3.40)$$

Диаметр мешалки, в соответствии с РТМ 37-68 принимаем равным:

$$d = 2,85 \text{ м}$$

Поверхность теплообмена полимеризатора и толщину стенки принимаем конструктивно.

Диаметр полимеризатора $d_{\Pi} = 3 \text{ м}$

$$\text{Радиус аппарата } R_{\Pi} = \frac{d_{\Pi}}{2} = \frac{3}{2} = 1,5 \text{ м} \quad (3.41)$$

Высота аппарата [1, стр.30]:

$$H_{\Pi} = \frac{V_{\Pi}}{\pi \cdot R_{\Pi}^2} = \frac{20,57}{3,14 \cdot 1,5^2} = 3,1 \text{ м} \quad (3.42)$$

Принимаем высоту аппарата: $H_{\Pi} = 3,1 \text{ м}$

Расчет наружной поверхности аппарата [1,стр.30]:

$$S_{\Pi} = F = 2 \cdot \pi \cdot R_{\Pi} \cdot H_{\Pi} = 2 \cdot 3,14 \cdot 1,5 \cdot 3,1 = 29,202 \text{ м}^2 \quad (3.43)$$

Тепловой поток, отводимый через теплопередающие поверхности [1,стр.31]:

$$\Phi_0 = \frac{\Phi_0}{Z_{\Pi}} = \frac{-2269808}{1} = -2269808 \text{ Вт} \quad (3.44)$$

Коэффициент теплопередачи, необходимый для отвода тепла реакции [1, стр.30]:

$$K_{\tau} = \frac{\Phi_0}{F \cdot (t_p - t_x)} = \frac{-2269808}{29,202 \cdot (40 - (-13))} = 1466,56 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}} \quad (3.45)$$

Скорость гомогенизации [1, стр.31]:

$$\tau_{\Gamma} = 560$$

Частота вращения перемешивающего устройства [1, стр.32]:

$$n = 0,506/\text{сек}$$

Критерий Рейнольдса [1, стр.32]:

$$\text{Re}_{\Pi} = \frac{\rho_p \cdot n \cdot d_{\Pi}^2}{\mu_{\Pi}} = \frac{850 \cdot 0,5 \cdot 3^2}{0,00024} = 15937500 \quad (3.46)$$

Критерий Прандтля [1, стр.32]:

$$\text{Pr} = \frac{C_p \cdot \mu_p}{\lambda_p} = \frac{2102,5 \cdot 0,00024}{0,1389} = 3,617 \quad (3.47)$$

Коэффициент [1, стр.38]: $\beta = 0,00058 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с}$

Критерий Грасгофа [1, стр.32]:

$$\text{Gr}_{\Pi} = \frac{g \cdot d_{\Pi}^3 \cdot \beta \cdot \Delta t}{\nu_p^2} = \frac{9,8 \cdot 3^3 \cdot 0,00058 \cdot (40 - (-25))}{0,0000002943} = 1,15 \cdot 10^{14}; \quad (3.48)$$

Толщину налипшего слоя полимера на теплопередающую поверхность принимаем исходя из эксплуатационных данных.

$$S_{\Pi} = 40 \text{ мм}$$

Критерий Нуссельта [1, стр.35]:

$$\text{Nu}_{\Pi} = 0,021 \cdot \text{Re}_{\Pi}^{0,8} \cdot \text{Pr}_{\Pi}^{0,43} = 0,021 \cdot 15937500^{0,8} \cdot 3,617^{0,43} = 21098,19 \quad (3.49)$$

Коэффициент теплопередачи от хладагента к поверхности аппарата [1, стр.38]:

$$\alpha_1 = \frac{Nu_{\Pi} \cdot \lambda_x}{d_{\Pi}} = \frac{21098,19 \cdot 0,23}{3} = 1617,53 \quad (3.50)$$

Коэффициент динамической вязкости реакционной среды выбирается по графику $\mu_p = f(t_p)$ [1, стр. 47]:

$$\mu = 0,0002 \text{ Па} \cdot \text{с}$$

Зазор между стенкой и мешалкой принимается конструктивно:

$$\delta = 0,15 \text{ м}$$

Критерий Нуссельта [1, стр.40]:

$$Nu = 0,19 \cdot Pr_{\Pi}^{0,4} \cdot Re_{\Pi}^{0,65} \cdot Z_{\Pi}^{0,3} \cdot \left(\frac{\mu_p}{\mu} \right)^{0,14} \cdot \left(\frac{\delta}{d} \right)^{-0,3} = 0,19 \cdot 3,617^{0,4} \cdot 15937500^{0,65} \cdot 1^{0,3} \cdot \left(\frac{0,00024}{0,0002} \right)^{0,14} \cdot \left(\frac{0,15}{2,85} \right)^{-0,3} = 37877,18 \quad (3.51)$$

Коэффициент теплопередачи от поверхности к смеси [1, стр.38]:

$$\alpha_2 = \frac{Nu \cdot \lambda_p}{d_{\Pi}} = \frac{37877,18 \cdot 0,1389}{3} = 1753,71 \quad (3.52)$$

Температура внутренней стенки полимеризатора [1, стр.39]:

$$t_{CT} = t_x + \frac{|\Phi_0|}{3F} \cdot \left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{S_{\Pi}}{\lambda_{\Pi}} + \frac{1}{R_3} \right) = -13 + \frac{|-2269008|}{29,202} \cdot \left(\frac{1}{1617,53} + \frac{1}{1753,71} + \frac{0,012}{46} + \frac{1}{3000} \right) = 33,187^{\circ} \text{C} \quad (3.53)$$

Коэффициент теплопередачи [1, стр.41]:

$$K_T = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{S_{\Pi}}{\lambda_{\Pi}} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{1617,53} + \frac{0,012}{46} + \frac{1}{3000} + \frac{1}{1753,71}} = 560,96 \frac{\text{Вт}}{\text{м}} \cdot \text{К} \quad (3.54)$$

Критерий Эйлера (критерий мощности) находим по РТМ 37-68:

$$N = 300000 \text{ Вт}$$

$Eu = K_N = f(\text{Re})$ получаем следующее выражение [1, стр.42]:

(3.55)

$$N_{\Pi} = Eu \cdot p_p \cdot n^3 \cdot d^5 = 15703419 \cdot 850 \cdot 0,5^3 \cdot 2,85^5 = 3,137 \cdot 10^{11} \text{ BТ}$$

(3.56)

3.4.1. Расчет обечайки нагруженной внутренним избыточным давлением

Температура расчетная – $T_{\text{расч.}} = 100^{\circ}\text{C}$;

испытания Р=1,5Мпа;

Допускаемое напряжение[9,стр.265]:при 20°С $[\sigma]_{20} = 184 \text{ МПа};$

при рабочих условиях $[\sigma]=137\text{МПа}$;

в продольном направлении $\varphi = 0,95$;

Прибавка на коррозию, эрозию с учетом срока службы аппарата и минусовой допуск по толщине листа равна: $C = C_1 + C_2 + C_3$,

где C_1 - прибавка на коррозию исходя из условий разъедания материала стенки средой и срока службы аппарата $C_1=3\text{мм}$;

C_2 - прибавка на коррозию, если такая имеет место при работе аппарата,

$C_1=0,5\text{мм}$;

C_3 - прибавка на минусовой допуск по толщине листа из которого изготавливается обечайка,

$C_3=1,1\text{мм}$;

$C=3+0,5+1,1=4,6\text{мм}$

Расчетная толщина стенки:

Расчетная толщина цилиндрической стенки S_p , подверженной внутреннему давлению P , при заданном внутреннем диаметре, определяется по формуле[9,стр.115]:

$$S_p = \frac{P \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi - P} = \frac{1,2 \cdot 3000}{2 \cdot 137 \cdot 0,95 - 1,2} = 13,89\text{мм} \quad (3.57)$$

Режим испытания [9,стр.417]:

При условии $P_{\text{исп.}} < P \cdot 1,35 \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]_t}$ – расчет на режим испытания не требуется.

$$1,5. < 1,2 \cdot 1,35 \cdot \frac{184}{137} = 2,1758 \quad (3.58)$$

Расчет на испытание не требуется так, как условие выполняется.

Исполнительная толщина стенки аппарата [9,стр.115]:

$$S = SP + C = 13,89 + 4,6 = 18,49 \text{ мм}$$

(3.59)

Принимаем толщину стенки полимеризатора равной 25 мм.

Рассчитаем допускаемое внутреннее избыточное давление в аппарате [9,стр.114]:

$$[P] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi \cdot (S - C)}{D + (S - C)} = \frac{2 \cdot 137 \cdot 0,95 \cdot (25 - 4,6)}{3000 + (25 - 4,6)} = 1,75 \text{ МПа}$$

(3.60)

Условия применения расчетных формул для обечаек и труб ≥ 200 мм: (3.61)

$$\frac{S - C}{D} \leq 0,1; \frac{25 - 4,6}{3000} = 0,0068 < 0,1 - \text{условие выполняется}$$

3.4.2. Расчетный диаметр одиночного отверстия, не требующего дополнительного укрепления, в месте врезки штуцеров в цилиндрическую обечайку

Материал обечайки – сталь 12Х18Н10Т;

Внутренний диаметр аппарата $D = D_p = 3000$ мм;

Допускаемое напряжение [9,стр.265] $[\sigma] = 137$ МПа;

Давление расчетное $P = 1,2$ МПа;

Прибавка на коррозию, эрозию $C = 4,6$ мм;

Коэффициент прочности цилиндрической стенки в продольном направлении $\varphi = 0,95$

Толщина стенки $S = 25$ мм.

Расчетная толщина стенки $S_p = 13,89$ мм.

Расчетный диаметр одиночного отверстия, не требующего укрепления [9,стр.16]:

$$d_0 = 2 \cdot \left(\frac{S-C}{S_p} - 0,8 \right) \cdot \sqrt{D_p \cdot (S-C)} = 2 \cdot \left(\frac{25-4,6}{13,89} - 0,8 \right) \cdot \sqrt{3000 \cdot (25-4,6)} = 330,85 \text{ мм} \quad (3.62)$$

Для штуцеров с $d_p < d_0$ дальнейший расчет укрепления отверстий не требуется.

Условия применения расчетных формул:

$$\frac{S-C}{D} \leq 0,1; \frac{25-4,6}{3000} = 0,0068 < 1 - \text{условие выполняется} \quad (3.63)$$

3.4.3. Расчет фланцевого соединения полимеризатора

Исходные данные для расчета.

Материал фланца,	12X18H10T,
болтов, гаек	сталь 37X12H8Г8МФБ
Материал прокладки медь	МЗ по ГОСТ 495-77
Внутренний диаметр фланца	$D = 3000 \text{ мм}$
Наружный диаметр фланца	$D_H = 3635 \text{ мм}$
Диаметр окружности расположения болтов	$D_B = 3452 \text{ мм}$
Наружный диаметр прокладки	$D_{HP} = 3300 \text{ мм}$
Ширина прокладки	$b_{PB} = 10 \text{ мм}$
Толщина фланца	$h = 100 \text{ мм}$
Толщина прокладки	$h_{II} = 10 \text{ мм}$
Толщина обечайки	$S_O = 25 \text{ мм}$
Наружный диаметр болта	$d = 52 \text{ мм}$
Число болтов	$n = 36 \text{ шт.}$
Расчетная температура	$t = 100 \text{ °C}$
Давление в аппарате	$P = 1,2 \text{ МПа}$
Внешний изгибающий момент	$M = 830000 \text{ Н} \cdot \text{мм}$
Внешняя осевая сила	$F = 12000 \text{ Н}$

Прибавка для компенсации коррозии	$C = 4,6 \text{ мм}$
Модуль продольной упругости фланца (при температуре 20°C)	$E^{20} = 215000 \text{ МПа}$
Модуль продольной упругости фланца (при рабочей температуре 650 °C)	$E = 181000 \text{ МПа}$
Модуль продольной упругости болтов (при температуре 20°C)	$E^{20}_B = 200000 \text{ МПа}$
Модуль продольной упругости болта (при рабочей температуре 650 °C)	$E_B = 182500 \text{ МПа}$
Температурный коэффициент линейного расширения фланца	$\alpha_\phi = 0,0000175 \text{ 1/град}$
Температурный коэффициент линейного болтов	$\alpha_B = 0,0000173 \text{ 1/град}$

Расчет вспомогательных величин

Характеристики прокладки [9,стр.21]:

Эффективная ширина прокладки

$$b_o = 3,8 \cdot \sqrt{b_{\Pi}} = 3,8 \cdot \sqrt{10} = 12,02 \text{ м} \quad (3.64)$$

Расчетный диаметр прокладки [9,стр.21]:

$$D_{\text{СП}} = D_{\text{НП}} - b_o = 3300 - 12,02 = 3287,98 \text{ м} \quad (3.65)$$

Коэффициент $m = 2,5$;

Удельное давление обжатия прокладки $q_{\text{ОБЖ}} = 20 \text{ МПа}$;

Допускаемое удельное давление $[\sigma] = 200 \text{ МПа}$;

Коэффициент обжатия $K = 0,9$;

Условный модуль сжатия $E_{\Pi} = 1500 \text{ МПа}$;

Податливость прокладки [9,стр.22]:

$$y_{\Pi} = \frac{h_{\Pi} \cdot K}{E_{\Pi} \cdot \pi \cdot D_{\text{сш}} \cdot b_0} = \frac{10 \cdot 0,9}{1500 \cdot 3,14 \cdot 3287,98 \cdot 12,02} = 4,83 \cdot 10^{-8} \text{ мм/Н} \quad (3.66)$$

Расстояние между опорными поверхностями гайки и болта $L = 300$ мм;

Податливость болтов [9,стр.22]:

$$L_B = L + 0,28 \cdot d = 300 + 0,28 \cdot 52 = 314,56 \quad (3.67)$$

Площадь сечения болта:

$$f = 0,785 \cdot d^2 = 0,785 \cdot 52^2 = 2122,64 \text{ мм}^2$$

$$y_B = \frac{L_B}{E_B^{20} \cdot f \cdot n} = \frac{314,56}{200000 \cdot 2122,64 \cdot 36} = 2,058 \cdot 10^{-8} \quad (3.68), (3.69)$$

Параметры фланца [9,стр.23]:

Эквивалентная толщина втулки: $S_9 = S_0 = 25$ мм

$$(3.70)$$

Коэффициенты [9,стр.23]:

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{D \cdot S_9}} = \frac{100}{\sqrt{3000 \cdot 25}} = 0,365; \quad J = \frac{h}{S_9} = \frac{100}{25} = 4 \quad (3.71)$$

Коэффициент [9,стр.30]: $\psi_1 = 0,11$

Коэффициент [9,стр.31]:

$$\omega = \frac{1}{1 + 0,9 \cdot \lambda \cdot (1 + \psi_1 \cdot J^2)} = \frac{1}{1 + 0,9 \cdot 0,365 \cdot (1 + 0,11 \cdot 4^2)} = 0,524 \quad (3.72)$$

Угловая податливость фланца [9,стр.31]:

$$y_{\Phi} = \frac{[1 - \omega \cdot (1 + 0,9 \cdot \lambda)] \cdot \psi_2}{E^{20} \cdot h^3} = \frac{(1 - 0,524 \cdot (1 + 0,9 \cdot 0,365)) \cdot 10,45}{215000 \cdot 100^3} = 1,476 \cdot 10^{-11} \frac{1}{\text{Н} \cdot \text{мм}} \quad (3.73)$$

Угловая податливость фланца, нагруженного внешним изгибающим моментом [9,стр.32]:

$$Y_{\Phi H} = \left(\frac{\pi}{4}\right)^3 \cdot \frac{D_B}{E^{20} \cdot D_H \cdot h^3} = \left(\frac{3,14}{4}\right)^4 \cdot \frac{3452}{215000 \cdot 3635 \cdot 100^3} = 2,136 \cdot 10^{-12} \frac{1}{H \cdot \text{мм}} \quad (3.74)$$

Плечи момента [9,стр.32]:

$$b = 0,5 \cdot (D_B - D_{\text{СП}}) = 0,5 \cdot (3452 - 3287,98) = 82,01 \text{ мм}$$

$$e = 0,5 \cdot (D_{\text{СП}} - D - S_9) = 0,5 \cdot (3287,98 - 3000 - 25) = 131,49 \text{ мм}$$

(3.75), (3.76)

Коэффициент жесткости фланцевого соединения

Фланцевое соединение, нагруженное внутренним давлением и внешней осевой силой [9,стр.34]:

$$\eta = Y_{\Pi} + Y_B + 2 \cdot Y_{\Phi} \cdot b^2 = 4,83 \cdot 10^{-8} + 2,058 \cdot 10^{-8} + 2 \cdot 1,476 \cdot 10^{-11} \cdot 82,01 \cdot 10^2 = 2,675 \cdot 10^{-7}$$

$$\alpha = 1 - \frac{Y_{\Pi} - 2 \cdot Y_{\Phi} \cdot b \cdot e}{\eta} = 1 - \frac{4,83 \cdot 10^{-8} - 2 \cdot 1,476 \cdot 10^{-11} \cdot 82,01 \cdot 131,49}{2,675 \cdot 10^{-7}} = 2,0$$

(3.77), (3.78)

Фланцевое соединение, нагруженное внешним изгибающим моментом [9,стр.35]:

$$\beta_H = \frac{a}{b} = \frac{2 \cdot Y_{\Phi H} \cdot b \cdot e \cdot \left(1 - \frac{e}{D_{\text{СП}}}\right) - Y_{\Pi} \cdot \left(\frac{D_B}{D_{\text{СП}}}\right)^2}{Y_B + Y_{\Pi} \cdot \left(\frac{D_B}{D_{\text{СП}}}\right)^2 + 2 \cdot Y_{\Phi H} \cdot b^2}$$

(3.79), (3.80)

$$a = 2 \cdot Y_{\Phi H} \cdot b \cdot e \cdot \left(1 - \frac{e}{D_{\text{СП}}}\right) - Y_{\Pi} \cdot \left(\frac{D_B}{D_{\text{СП}}}\right)^2 = 2 \cdot 2,136 \cdot 10^{-12} \cdot 82,01 \cdot 131,49 \cdot$$

$$\cdot \left(1 - \frac{3452}{3287,98}\right) - 4,83 \cdot 10^{-8} \cdot \left(\frac{3452}{3287,98}\right)^2 = -9,054 \cdot 10^{-9}$$

$$b = Y_B + Y_{\Pi} \cdot \left(\frac{D_B}{D_{\text{СП}}}\right)^2 + 2 \cdot Y_{\Phi H} \cdot b^2 = 2,058 \cdot 10^{-8} + 4,83 \cdot 10^{-8} \cdot \left(\frac{3452}{3287,98}\right)^2 + 2 \cdot 2,136 \cdot 10^{-12} \cdot 82,01^2 = 1,026 \cdot 10^{-7}$$

$$\beta_H = \frac{-9,054 \cdot 10^{-9}}{1,026 \cdot 10^{-7}} = -0,088$$

$$\alpha_H = -(1 + \beta_H) = -(1 + (-0,088)) = -0,912$$

Расчет нагрузок

Равнодействующая внутреннего давления [9,стр.37]:

$$Q_D = 0,785 \cdot D_{\text{сп}}^2 \cdot P = 0,785 \cdot 3287,98^2 \cdot 1,2 = 10183785,36 \text{ Н} \quad (3.81)$$

Реакция прокладок в рабочих условиях [9,стр.37]:

$$R_{\Pi} = \pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_0 \cdot m \cdot P = 3,14 \cdot 3287,98 \cdot 12,02 \cdot 2,5 \cdot 1,2 = 372292,71 \text{ Н} \quad (3.82)$$

Нагрузка, возникающая от температурных деформаций [9,стр.37]:

$$\begin{aligned} \eta_1 = y_{\Pi} + y_B \cdot \frac{E_B}{E_B^{20}} + 12 \cdot y_{\Phi} \cdot \frac{E}{E^{20}} \cdot b^2 = 4,83 \cdot 10^{-8} + 2,058 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{182500}{200000} + 12 \cdot \\ \cdot 1,476 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{181000}{215000} \cdot 82,01^2 = 2,344 \cdot 10^{-7} \end{aligned} \quad (3.83)$$

Температура фланца: $t_{\Phi} = 280^{\circ}\text{C}$

Температура болта: $t_B = 280^{\circ}\text{C}$

$$\begin{aligned} Q_t = \frac{1}{\eta_1} \cdot (2 \cdot \alpha_{\Phi} \cdot h \cdot t_{\Phi} - \alpha_B \cdot L \cdot t_B) = \frac{1}{2,344 \cdot 10^{-7}} \cdot (2 \cdot 0,0000175 \cdot 100 \cdot 280 - 0,000173 \cdot 314,56 \cdot 280) = \\ = -2319864,429 \text{ Н} \end{aligned} \quad (3.84)$$

Болтовая нагрузка принимается больше из следующих значений [9,стр.38]:

$$\begin{aligned} P_{\sigma 1} = \alpha \cdot (Q_D + F) + R_{\Pi} - Q_t + \left| \frac{4 \cdot \alpha_H \cdot M}{D_{\text{сп}}} \right| = 2,0 \cdot (10183785,36 + 12000) + 372292,71 - \\ - (-2319864,429) + \left| \frac{4 \cdot (-0,912) \cdot 830000}{3287,98} \right| = 23084648,5 \text{ Н} \end{aligned} \quad (3.85)$$

$$P_{\sigma 2} = 0,5 \cdot \pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_0 \cdot q_{\text{ОБЖ}} = 0,5 \cdot 3,14 \cdot 3287,98 \cdot 12,02 \cdot 20 = 1240975,7 \text{ Н}$$

(3.86)

Допускаемое напряжение болтов при 20 °С [9,стр.265]:

$$[\sigma]_B^{20} = 391 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение болтов при рабочих условиях [9,стр.265]:

$$[\sigma]_B = 366 \text{ МПа}$$

$$P_{\sigma 3} = 0,4 \cdot [\sigma]_B^{20} \cdot n \cdot f = 0,4 \cdot 391 \cdot 36 \cdot 2122,64 = 11951312,26 \text{ Н}$$

(3.87)

Приращение нагрузки в болтах при рабочих условиях [9,стр.40]:

$$\Delta P_{\sigma} = (1 - \alpha) \cdot (Q_d + F) + Q_t + \frac{4 \cdot \beta_H \cdot M}{D_{\text{СП}}} = (1 - 2) \cdot (10183785,36 + 12000) + (-2319864,429) + \\ + \frac{4 \cdot (-0,088) \cdot 830000}{3287,98} = -12515738,88 \text{ Н}$$

(3.88)

Расчет болтов

Условия прочности болтов [9,стр.43]:

$$\sigma_{B1} = \frac{|P_{\sigma(\text{MAX})}|}{n \cdot f} \leq \xi \cdot [\sigma]_B^{20}$$

Коэффициент принимается в диапазоне 1,1 – 1,2 $\xi = 1,1$

$$\frac{|23084648,5|}{36 \cdot 2122,64} = 302,096 < 1,1 \cdot 391 = 430,1$$

(3.89)

Условие выполняется.

$$\sigma_{B2} = \frac{P_{\sigma(\text{MAX})} + \Delta P_{\sigma}}{n \cdot f} \leq [\sigma]_B,$$

$$\frac{23084648,5 + (-12515738,88)}{36 \cdot 2122,64} = 138,309 \text{ МПа} \leq 366 \text{ МПа}$$

(3.90)

Условие выполняется.

Расчет прокладок

Условие прочности [9,стр.48]:

$$q = \frac{|P_{\sigma(\text{MAX})}|}{\pi \cdot D_{\text{СП}} \cdot b_0} \leq [q]$$

$$\frac{|23084648,5|}{3,14 \cdot 3287,98 \cdot 12,02} = 186,02 \text{ МПа} \leq 200 \text{ МПа}$$

(3.91)

Условие прочности выполняется.

Расчет фланца

Угол поворота фланца при затяжке [9,стр.53]:

$$M_{01} = P_{\sigma(\text{MAX})} \cdot b = 23084648,5 \cdot 82,01 = 1893172023 \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

$$\begin{aligned} \theta &= M_{01} \cdot \frac{[1 - \omega \cdot (1 + 2,3 \cdot \lambda)] \cdot \psi_2}{E^{20} \cdot h^3} = \\ &= 1893172023 \cdot \frac{[1 - 0,524 \cdot (1 + 2,3 \cdot 0,365)] \cdot 10,45}{215000 \cdot 100^3} = 0,00332 \end{aligned}$$

(3.92), (3.93)

Приращение угла поворота фланца в рабочих условиях [9,стр.54]:

$$\begin{aligned} \Delta M_{01} &= \Delta P_{\sigma} \cdot b + \left(Q_{\text{д}} + \frac{4 \cdot M}{D_{\text{СП}}} + F \right) \cdot e = -12515738,88 \cdot 82,01 + \\ &+ \left(10183785,36 + \frac{4 \cdot 830000}{3287,98} + 12000 \right) \cdot 131,49 = 314360841,4 \text{ Н} \cdot \text{мм} \end{aligned}$$

(3.94)

$$\begin{aligned} \Delta \theta &= \Delta M_{01} \cdot \frac{[1 - \omega \cdot (1 + 2,3 \cdot \lambda)] \cdot \psi_2}{E \cdot h^3} = \\ &= 314360841,4 \cdot \frac{[1 - 0,524 \cdot (1 + 2,3 \cdot 0,365)] \cdot 10,45}{181000 \cdot 100^3} = 0,000655 \end{aligned}$$

(3.95)

Меридианное напряжение в обечайке на наружной и внутренней поверхностях в рабочих условиях [9,стр.56]:

Коэффициент $T = 0,67$

$$\sigma_1 = \frac{T \cdot \omega \cdot M_{01}}{D \cdot (S_o - C)^2} = \frac{0,67 \cdot 0,524 \cdot 1893172023}{3000 \cdot (25 - 4,6)^2} = 532,37 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{21} = \sigma_1 = 532,37 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{22} = -\sigma_1 = -532,37 \text{ МПа}$$

(3.96)

Приращение меридиональных напряжений в обечайке на наружной и внутренней поверхностях в рабочих условиях [9,стр.56]:

$$\Delta\sigma_M = \frac{Q_d + \frac{4 \cdot M}{D_{\text{СП}}} + F}{\pi \cdot D \cdot (S_o - C)} = \frac{10183785,36 + \frac{4 \cdot 830000}{3287,98} + 12000}{3,14 \cdot 3000 \cdot (25 - 4,6)} = 53,06 \text{ МПа}$$

(3.97)

$$\Delta\sigma_1 = \frac{T \cdot \omega \cdot \Delta M_{01}}{D \cdot (S_o - C)^2} = \frac{0,67 \cdot 0,524 \cdot 314360841,4}{3000 \cdot (25 - 4,6)^2} = 88,4 \text{ МПа}$$

(3.98)

$$\Delta\sigma_{21} = \Delta\sigma_M + \Delta\sigma_1 = 53,06 + 88,4 = 141,462 \text{ МПа}$$

(3.99)

$$\Delta\sigma_{22} = \Delta\sigma_M - \Delta\sigma_1 = 53,06 - 88,44 = -35,338 \text{ МПа}$$

(3.100)

Окружные напряжения в обечайке на наружных и внутренних поверхностях при затяжке [9,стр.57]:

$$\sigma_{23} = 0,3 \cdot \sigma_1 = 0,3 \cdot 532,37 = 159,711 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{24} = -0,3 \cdot \sigma_1 = -0,3 \cdot 532,37 = -159,711 \text{ МПа}$$

(3.101), (3.102)

Приращение окружных напряжений в обечайке на наружной и внутренней поверхностях в рабочих условиях [9,стр.57]:

$$\Delta\sigma_{23} = \frac{P \cdot D}{2 \cdot (S_o - C)} + 0,3 \cdot \Delta\sigma_1 = \frac{1,2 \cdot 3000}{2 \cdot (25 - 4,6)} + 0,3 \cdot 88,4 = 114,755 \text{ МПа}$$

$$\Delta\sigma_{24} = \frac{P \cdot D}{2 \cdot (S_o - C)} - 0,3 \cdot \Delta\sigma_1 = \frac{1,2 \cdot 3000}{2 \cdot (25 - 4,6)} - 0,3 \cdot 88,4 = 61,715 \text{ МПа}$$

(3.103), (3.104)

Условия прочности фланца при расчете статической прочности при затяжке [9,стр.57]:

$$\sigma_{so}^{20} = \max \left\{ \frac{\sqrt{\sigma_{22}^2 + \sigma_{24}^2 - \sigma_{22} \cdot \sigma_{24}}}{\sqrt{\sigma_{21}^2 + \sigma_{23}^2 - \sigma_{21} \cdot \sigma_{23}}} \right\} \leq [\sigma]_{so}^{20} \quad (3.105)$$

$$[\sigma]_{so}^{20} = \left(3,75 - 1,5 \cdot \frac{[\sigma]_{0,2}^{20}}{[\sigma]_B^{20}} \right) \cdot [\sigma]^{20}, \text{ но не более } 3 \cdot [\sigma] \quad (3.106)$$

$$[\sigma]_{so} = \left(4,5 - 2 \cdot \left(\frac{\sigma_{0,2}}{\sigma_B} \right) \right) \cdot [\sigma] \quad (3.107)$$

Исходные данные по материалу фланца при температуре 20°C [9,стр.266]:

Допускаемое напряжение материала фланца $[\sigma]^{20} = 194 \text{ МПа}$

Предел текучести материала фланца $[\sigma]_{0,2}^{20} = 240 \text{ МПа}$

Предел прочности фланца при растяжении $[\sigma]_B^{20} = 520 \text{ МПа}$

Исходные данные по материалу фланца при рабочих условиях [18,стр.86]:

Допускаемое напряжение материала фланца $[\sigma] = 185 \text{ МПа}$

Предел текучести фланца $\sigma_{0,2} = 225 \text{ МПа}$

Предел прочности фланца при растяжении $\sigma_B = 560 \text{ МПа}$

$$[\sigma]_{SO}^{20} = \left(3,75 - 1,5 \cdot \frac{[\sigma]_{0,2}^{20}}{[\sigma]_B^{20}} \right) \cdot [\sigma]^{20} = \left(3,75 - 1,5 \cdot \frac{240}{520} \right) \cdot 194 = 593,19 \text{ МПа}$$

$$[\sigma]_{SO} = \left(4,5 - 2 \cdot \left(\frac{\sigma_{0,2}}{\sigma_B} \right) \right) \cdot [\sigma] = \left(4,5 - 2 \cdot \left(\frac{225}{560} \right) \right) \cdot 185 = 683,84 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{SO}^{20} = \max \left\{ \begin{aligned} &\sqrt{53237^2 + 159,711^2 - 532,37 \cdot 159,711} = 473,18 \\ &\sqrt{(-53237^2) + (-159,711^2) - (-532,37) \cdot (-159,711)} = 473,18 \end{aligned} \right\}$$

$$\sigma_{SO}^{20} = 473,18 \text{ МПа} < 593,19 \text{ МПа}$$

Условие выполняется.

В рабочих условиях [9,стр.58]:

(3.108)

$$\sigma_{SO}^{20} = \max \left\{ \begin{aligned} &\sqrt{(\sigma_{21} + \Delta\sigma_{21})^2 + (\sigma_{23} + \Delta\sigma_{23})^2 - (\sigma_{21} + \Delta\sigma_{21})^2 \cdot (\sigma_{23} + \Delta\sigma_{23})^2} \\ &\sqrt{(\sigma_{22} + \Delta\sigma_{22})^2 + (\sigma_{24} + \Delta\sigma_{24})^2 - (\sigma_{22} + \Delta\sigma_{22})^2 \cdot (\sigma_{24} + \Delta\sigma_{24})^2} \end{aligned} \right\} \leq [\sigma]_{SO}^{20}$$

$$\sqrt{(\sigma_{21} + \Delta\sigma_{21})^2 + (\sigma_{23} + \Delta\sigma_{23})^2 - (\sigma_{21} + \Delta\sigma_{21})^2 \cdot (\sigma_{23} + \Delta\sigma_{23})^2} = 586,89 \text{ МПа}$$

$$\sqrt{(\sigma_{22} + \Delta\sigma_{22})^2 + (\sigma_{24} + \Delta\sigma_{24})^2 - (\sigma_{22} + \Delta\sigma_{22})^2 \cdot (\sigma_{24} + \Delta\sigma_{24})^2} = 525,61 \text{ МПа}$$

$$[\sigma]_{SO} = \max \left\{ \begin{aligned} &586,89 \text{ МПа} \\ &525,61 \text{ МПа} \end{aligned} \right\} < 683,84 \text{ МПа}$$

Уровень напряженного состояния не превышает допускаемый

Требования к жесткости

Условия жесткости [9,стр.62]:

$$\theta + \Delta\theta \leq [\theta]$$

(3.109)

Допустимый угол поворота при рабочих условиях [9,стр.62]:

$$[\theta] = 0,13$$

$$\theta + \Delta\theta = 0,00332 + 0,000655 = 0,00397 < 0,013$$

Условие выполняется.

4 РАСЧЕТ ТЕПЛООБМЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

В качестве вспомогательного оборудования рассчитаем теплообменный аппарат для охлаждения изопентан-изопреновой смеси поступающей из емкости поз. 80.

Изопентан-изопреновая смесь охлаждается раствором хлористого кальция содержащего 29,4 % (масс.) KCl и 70,6 % (масс.) H₂O.

Исходные данные для расчета:

Трубное пространство (изопентан-изопреновая смесь)

Расход продукта	G_1	18690	кг/ч
Начальная температура	$t_{1Н}$	25	°C
Конечная температура	$t_{1К}$	минус 25	°C
Давление	P_1	10	ат.
Коэффициент загрязнения	κ_1	5800	Вт/м ² *К
Плотность среды	ρ_1	654,83	кг/м ³
Вязкость динамическая	μ_1	0,00028	Па*с
Теплоемкость	c_1	2013,9	Дж/кг*°К
Теплопроводность	λ_1	0,1448	Вт/м*°К

Межтрубное пространство (раствор хлористого кальция)

Начальная температура	$t_{2Н}$	минус 35	°C
Конечная температура	$t_{2К}$	минус 25	°C
Давление	P_2	4	ата
Коэффициент загрязнения	κ_2	5800	Вт/м ² *К

Плотность среды	ρ_2	1498	кг/м ³
Вязкость динамическая	μ_2	0,01484	Па*с
Теплоемкость	c_2	1717,9	Дж/кг*°К
Теплопроводность	λ_2	0,2282	Вт/м*°К

Расчет вспомогательных величин

Схема процесса теплопередачи [6, стр.233]:

(4.1)

$$\frac{\begin{cases} -25 \rightarrow -35 \\ 25 \rightarrow -25 \end{cases}}{\Delta t_B = 50 \Delta Q_M = 10}, \text{ где}$$

$\Delta t_B, \Delta t_M$ – большая и меньшая разности температур системы.

Средняя разность температур [6, стр.169]:

(4.2)

$$\Delta t_{CP} = \frac{\Delta t_B - \Delta t_M}{2,3 \cdot \lg\left(\frac{\Delta t_B}{\Delta t_M}\right)} = \frac{50 - 10}{2,3 \cdot \lg\left(\frac{50}{10}\right)} = 24,88^\circ\text{C} = 24,88^\circ\text{K}$$

Средняя температура хладагента [6, стр.233]:

(4.3)

$$t_2 = \frac{t_{2K} + t_{2H}}{2} = \frac{-25 + (-35)}{2} = -30^\circ\text{C}$$

Средняя температура теплоносителя [6, стр.233]:

(4.4)

$$t_1 = t_2 + \Delta t_{CP} = -30 + 24,88 = -5,1187^\circ\text{C}$$

Количество теплоты, необходимое охлаждения изопрен-изопентановой фракции с учетом потери холода в размере 5 % [6, стр.233]:

(4.5)

$$Q = 1,05 \cdot \frac{G_1}{3600} \cdot C_1 \cdot (t_{1K} - t_{1H}) = 1,05 \cdot \frac{18690}{3600} \cdot 2013,9 \cdot (-25 - 25) = 548911,1 \text{ Вт}$$

Расход хладагента [6, стр.233]:

$$G_2 = \frac{Q}{C_2 \cdot (t_{2K} - t_{2H})} = \frac{548911,1}{1717,9 \cdot (-25 - (-35))} = 31,95 \text{ кг/сек} \quad (4.6)$$

Определение максимальной величины площади поверхности теплообмена.

В случае поперечного обтекания воздухом пучка труб, расположенных в шахматном порядке коэффициент теплопередачи равен [6, стр.171]:

$$K_{\text{MIN}} = 60 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

$$K_{\text{MAX}} = \frac{Q}{K_{\text{MIN}} \cdot \Delta t_{\text{CP}}} = \frac{548911,1}{60 \cdot 24,88} = 367,705 \text{ м}^2 \quad (4.7)$$

Условию $F < 367,705 \text{ м}^2$ удовлетворяет двухходовой кожухотрубный аппарат, со следующими характеристиками [6, стр.215]:

Диаметр кожуха аппарата	D_A	1000	мм
Число труб	n	732	шт.
Площадь поперечного сечения в вырезе перегородки	$S_{\text{СЖ}}$	0,121	м ²
Расстояние от диагонали до хорды сегмента	h_1	194	мм
Внутренний диаметр труб	$D_{\text{ВН}}$	0,021	м
Наружный диаметр труб	$D_{\text{Н}}$	0,025	м
Шаг труб в трубной решетки	t	0,032	м
Длинна труб	L	4	м
Толщина стенки труб	s	0,002	м
Коэффициент теплопроводности стали	$\lambda_{\text{СТ}}$	46,5	Вт/м ² *К
Число ходов	n_X	2	

Площадь проходного сечения по трубам [6, стр.234]:

(4.8)

$$S_T = \frac{n}{2} \cdot 0,785 \cdot d_{BH}^2 = \frac{732}{2} \cdot 0,785 \cdot 0,021^2 = 0,1267 \text{ м}^2$$

Межтрубное пространство

Размер стрелки сегмента [6, стр.234]:

(4.9)

$$b = \frac{D_A}{2} - h_1 = \frac{1000}{2} - 194 = 306 \text{ мм}$$

Коэффициент, зависящий от наружного диаметра и шага труб [6, стр.157]:

(4.10)

$$\psi = \frac{1 - \left(\frac{d_H}{t}\right)}{1 - 0,9 \cdot \left(\frac{d_H}{t}\right)^2} = \frac{1 - \left(\frac{25}{32}\right)}{1 - 0,9 \cdot \left(\frac{25}{32}\right)^2} = 0,49$$

Расстояние между перегородками [6, стр.157]:

(4.11)

$$l = \frac{b}{1,415 \cdot \psi} = \frac{306}{1,415 \cdot 0,49} = 446 \text{ мм}$$

Объемный расход хладагента в межтрубном пространстве [6, стр.157]:

(4.12)

$$V_2 = \frac{G_2}{\rho_2} = \frac{31,95}{1498} = 0,0213 \frac{\text{м}^3}{\text{сек}}$$

Расчетная скорость хладагента в межтрубном пространстве [6, стр.234]:

(4.13)

$$\omega_2 = \frac{V_2}{S_{CЖ}} = \frac{0,0213}{0,121} = 0,1763 \frac{\text{м}}{\text{сек}}$$

Критерий Рейнольдса хладагента [6, стр.234]:

(4.14)

$$Re_2 = \frac{\omega_2 \cdot d_H \cdot \rho_2}{\mu_2} = \frac{0,1763 \cdot 0,025 \cdot 1498}{0,01484} = 444,862$$

Коэффициент, зависящий от угла атаки равен [6, стр.157]:

$$\varepsilon_\varphi = 1$$

В данном расчете теплопередача происходит от жидкости к жидкости, т.к. коэффициент теплопередачи от изопрен-изопентановой смеси к стенке меньше коэффициента теплоотдачи от стенки к хладагенту, поэтому примем [6, стр.157]:

(4.15),(4.16)

$$1\Delta t_2 = 0,25 \cdot \Delta t_{CP} = 0,25 \cdot 24,88 = 6,22^\circ\text{C} = 6,22^\circ\text{K}$$

$$t_{CT2} = t_2 + 1\Delta t_2 = -30 + 6,22 = -23,78^\circ\text{C} = -23,78^\circ\text{K}$$

Определяющая температура [6, стр.157]:

(4.17)

$$t = 0,5 \cdot (t_{CT2} + t_2) = 0,5 \cdot (-23,78 + (-30)) = -26,89^\circ\text{C} = -26,89^\circ\text{K}$$

Критерий Прандтля [6, стр.157]:

(4.18)

$$Pr_2 = \frac{c_2 \cdot \mu_2}{\lambda_2} = \frac{1717,9 \cdot 0,01484}{0,2282} = 111,716$$

Свойство хладагента (раствор хлористого кальция) при температуре стенки:

Вязкость динамическая	μ_{2CT}	0,0126	Па*с
Теплоемкость	c_{2CT}	1718,3	Дж/кг*°K
Теплопроводность	λ_{2CT}	0,2276	Вт/м*°K

Критерий Прандтля [6, стр.158]:

(4.19)

$$Pr_{2CT} = \frac{c_{2CT} \cdot \mu_{2CT}}{\lambda_{2CT}} = \frac{1718,3 \cdot 0,0126}{0,2276} = 95,148$$

Критерий Нуссельта для хладагента [6, стр.157]:

(4.20)

$$Nu_2 = 0,56 \cdot \varepsilon \cdot Re_2^{0,5} \cdot Pr_2^{0,36} \cdot \left(\frac{Pr_2}{Pr_{2CT}} \right)^{0,25} = 0,56 \cdot 1 \cdot 444,862^{0,5} \cdot 111,716^{0,36} \cdot \left(\frac{111,716}{95,148} \right)^{0,25} = 67,151$$

Коэффициент теплопередачи [6, стр.234]:

(4.21)

$$\alpha_2 = \frac{Nu_2 \cdot \lambda_2}{d_H} = \frac{67,151 \cdot 0,2282}{0,025} = 612,952 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Трубное пространство

Коэффициент β_1 для изопрен-изопентановой смеси [6, стр.537]:

$$\beta_1 = 8,19 \cdot 10^{-4} \text{ К}^{-1}$$

Скорость смеси [6, стр.234]:

(4.22)

$$\omega_1 = \frac{G_1 / 3600}{\rho_1 \cdot S_T} = \frac{18690 / 3600}{654,83 \cdot 0,1267} = 0,06257 \text{ м/с}$$

Критерий Рейнольдса смеси [6, стр.234]:

(4.23)

$$Re_1 = \frac{\omega_1 \cdot d_{BH} \cdot \rho_1}{\mu_1} = \frac{0,06257 \cdot 0,021 \cdot 654,83}{0,00028} = 3,8665$$

Критерий Прандтля [6, стр.158]:

(4.24)

$$Pr_1 = \frac{c_1 \cdot \mu_1}{\lambda_1} = \frac{2013,9 \cdot 0,00028}{0,1448} = 3,8665$$

Свойство смеси при температуре стенки:

Вязкость динамическая	μ_{1CT}	0,00038	Па*с
Теплоемкость	c_{1CT}	1890	Дж/кг*°К
Теплопроводность	λ_{1CT}	0,1532	Вт/м*°К

Критерий Прандтля при температуре стенки [6, стр.158]:

(4.25)

$$Pr_{1CT} = \frac{c_{1CT} \cdot \mu_{1CT}}{\lambda_{1CT}} = \frac{1890 \cdot 0,00038}{0,1532} = 4,626$$

Расчет параметра [6, стр.537]:

(4.26)

$$(Gr_1 Pr_1) = \frac{d_{BH}^3 \cdot \rho_1^2 \cdot \beta_1 \cdot \Delta t_2 \cdot 9,81}{\mu_1^2} \cdot Pr_1 = \frac{0,021^3 \cdot 654,83^2 \cdot 8,19 \cdot 10^{-4} \cdot 6,22 \cdot 9,81}{0,00028^2} = 2567981,92$$

Определим значение критерия [6, стр.235]:

(4.27)

$$\left(\text{Re}_1 \cdot \frac{d_{\text{BH}}}{L} \right) = \text{Re}_1 \cdot \text{Pr}_1 \cdot \frac{d_{\text{BH}}}{L} = 3095,209 \cdot 3,8665 \cdot \frac{0,021}{4} = 62,8295$$

Произведение $(\text{Gr}_1 \text{Pr}_1) > 8 \cdot 10^5$, следовательно, для горизонтального аппарата расчетная формула критерия Нуссельта [6, стр.155]:

(4.28)

$$\text{Nu}_1 = 0,022 \cdot \text{Re}_1^{0,8} \cdot \text{Pr}_1^{0,4} \cdot \left(\frac{\mu_1}{\mu_{1\text{CT}}} \right)^{0,25} = 0,022 \cdot 3095,209^{0,8} \cdot 3,8665^{0,4} \cdot \left(\frac{0,00028}{0,00038} \right)^{0,25} = 21,747$$

Коэффициент теплопередачи [6, стр.235]:

(4.29)

$$\alpha_1 = \frac{\text{Nu}_1 \cdot \lambda_1}{d_{\text{BH}}} = \frac{21,747 \cdot 0,1448}{0,021} = 149,952 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Коэффициент теплопроводности системы [6, стр.235]:

(4.30)

$$\frac{1}{\sum r_{\text{CT}}} = \frac{1}{\frac{1}{\kappa_1} + \frac{S}{\lambda_{\text{CT}}} + \frac{1}{\kappa_2}} = \frac{1}{\frac{1}{5800} + \frac{0,002}{46,5} + \frac{1}{5400}} = 2578,39 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Коэффициент теплопередачи [6, стр.235]:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\sum r_{\text{CT}}} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{149,952} + \frac{1}{2578,39} + \frac{1}{612,952}} = 115,1 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Поверхностная плотность теплового потока [6, стр.235]:

(4.31)

$$q = K \cdot \Delta t_{\text{CP}} = 115,1 \cdot 24,88 = 2863,848 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$$

Уточненное значение Δt_2 [6, стр.235]:

(4.32)

$$2\Delta t_2 = \frac{q}{\alpha_2} = \frac{2863,848}{612,952} = 4,67^\circ\text{C} = 4,67^\circ\text{K}$$

Уточненное значение $(Gr_1 Pr_1) > 8 \cdot 10^5$ [6, стр.235]:

(4.33)

$$(Gr_1 Pr_1) = (Gr_1 Pr_1) \cdot \left(\frac{1\Delta t_2}{2\Delta t_2} \right)^{0,1} = 2567981,92 \cdot \left(\frac{6,22}{4,67} \right)^{0,1} = 2642536,54$$

Полученное значение $(Gr_1 Pr_1) > 8 \cdot 10^5$ и $\left(Re_1 \cdot \frac{d_{BH}}{L} \right) > 20$ формула применена правильно.

Расчетное значение определяющей температуры [6, стр.236]:

(4.34)

$$t = t_2 + \frac{2\Delta t_2}{2} = -30 + \frac{4,67}{2} = -27,664^\circ\text{C} \text{ ранее было принято } -26,89^\circ\text{C}$$

Расчет поверхностной плотности теплового потока произведен правильно.

Расчет поверхности теплообмена

Расчетная площадь поверхности теплообмена [6, стр.236]:

(4.35)

$$F = \frac{Q}{q} = \frac{548911,1}{2863,848} = 191,669 \text{ м}^2$$

Средний диаметр труб:

(4.36)

$$t_{CP} = \frac{d_H + d_{BH}}{2} = \frac{0,021 + 0,025}{2} = 0,023 \text{ м}$$

Расчетная поверхность теплообмена [6, стр.236]:

(4.37)

$$F = \pi \cdot t_{CP} \cdot n \cdot L = 3,14 \cdot 0,023 \cdot 732 \cdot 4 = 211,46 \text{ м}^2$$

Запас площади поверхности теплообмена [6, стр.236]:

(4.38)

$$\frac{211,46 - 191,669}{191,669} \cdot 100\% = 10,3\%$$

Запас поверхности достаточен.

В виду того, что разность между температурой труб и кожуха

превышает 20 °С, применяем кожухотрубный аппарат с U – образными трубами.

По каталогу «Стандартные кожухотрубчатые теплообменные аппараты общего назначения» выбираем теплообменник типа «У», горизонтальный «Г», с кожухом 1000 мм, на условное давление в трубах и кожухе 2 МПа, исполнение по материалу «М1», исполнение по температурному пределу «О», с гладкими теплообменными трубами 25 мм и длиной 4 м, двухходовой, климатическое исполнение «У», с деталями для крепления изоляции, группа 1.

Теплообменник 1000ТУГ-2-М8-О/25-4-2-И-гр. 1 ТУ 26-02-1090-88.

5 БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА

5.1 Характеристика технологического объекта

Полимеризация изопрен-изопентановой шихты.

Таблица 1-Технологический паспорт объекта

Технологический процесс	Технологическая операция, вид выполняемых работ	Наименование должности работника, выполняющего технологический процесс, операцию	Оборудование, устройство, приспособление	Материалы, вещества
1.Производство СКИ (установка ИП-5).	Полимеризация изопрен-изопентановой смеси.	Начальник смены, аппаратчик 6-го разряда, аппаратчик 5-го разряда.	Полимеризаторы №98/1, 98/1/1, 98/1/2	Сталь 12Х18Н10Т Изопентан, изопрен, толуол.

5.2 Идентификация профессиональных рисков

Таблица 2-Идентификация профессиональных рисков

Производственно-	Опасный и /или	Источник опасного и /
------------------	----------------	-----------------------

технологическая и/или эксплуатационно-технологическая операция, вид выполняемых работ	вредный производственный фактор	или вредного производственного фактора
1. Узел полимеризации изопрен-изопентановой шихты.	- взрывоопасность	определяется наличием газов и паров жидкостей, которые вместе с кислородом воздуха образуют взрывоопасные смеси. Данное производство по категории взрывопожароопасности относится к категории "А", так как перерабатываемые продукты имеют температуру вспышки паров ниже 28 °С и нижний предел взрывоопасности ниже 10 % (об.);

Продолжение таблицы 2

1	2	3
---	---	---

	- электрический ток - движущиеся и вращающиеся части оборудования - использование оборудования, находящегося под давлением	при наличии повреждений на электрооборудовании и электропроводке и в результате несоблюдения правил электробезопасности; наличие грузоподъемных механизмов, которые являются источниками опасности при погрузочно-разгрузочных работах, транспортировке, обслуживании и ремонтных работах оборудования; при эксплуатации малых сосудов и аппаратов основная опасность их эксплуатации заключается в возможности их разрушения при внезапном
--	---	--

Продолжение таблицы 2

1	2	3
---	---	---

	- загазованность - вибрация	адиабатическом расширении газов или паров жидкостей (физический взрыв); определяется наличием или возможностью выделения в рабочую зону взрывоопасных, пожароопасных или вредных и токсичных паров или других веществ (паров углеводородов и пр.); источником вибрации являются машины и механизмы с неуравновешенными вращающимися массами (в основном электроприводы);
--	---	---

Продолжение таблицы 2

1	2	3
---	---	---

	- шум - недостаточное освещение	его источником являются машины и механизмы, а также технологические установки и аппараты в которых движение жидкости или газов имеет пульсирующий характер и происходит с большими скоростями (компрессоры, насосы); при недостаточном освещении рабочие плохо видят окружающие предметы и плохо ориентируются в производственной обстановке, что может привести к созданию опасных производственных ситуаций.
--	---	--

5.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков

Таблица 3-Методы и средства снижения воздействия опасных и вредных производственных факторов

Опасный и / или вредный производственный фактор	Организационные методы и технические средства защиты, снижения, устранения опасного и / или вредного производственного фактора	Средства индивидуальной защиты работника
- взрывоопасность - пожароопасность - электрический ток - движущиеся и вращающиеся части оборудования - использование оборудования, находящегося под давлением - загазованность - вибрации - шум	Строгое соблюдение норм и положений в соответствии с настоящим технологическим регламентом; ведение технологических операций только на исправном оборудовании при наличии ограждения на вращающихся частях механизмов; соответствие оборудования по давлению, температуре, материалам и процессам, для которых оно предназначено; своевременное освидетельствование и	Спец.одежда, противогаз, каска, защитные очки.

Продолжение таблицы 3

1	2	3
---	---	---

	регистрация котлонадзорного оборудования, грузоподъемных механизмов; своевременное выполнение графиков планово предупредительного ремонта.	
--	---	--

5.4 Обеспечение пожарной безопасности технического объекта

5.4.1 Идентификация опасных факторов пожара.

Таблица 4-Идентификация классов и опасных факторов пожара.

Участок, подразделение	Оборудование	Класс пожара	Опасные факторы пожара	Сопутствующие проявления факторов пожара
Установка Полимеризации изопрена ИП-5	Полимеризатор №98	А	Завышение давления в системе конденсации;	Разгерметизация аппаратуры блока; Выброс контактного газа; Образование пролива; Воспламенение (взрыв, пожар); Поражение зданий,
Продолжение таблицы 4				
1	2	3	4	5

				сооружений, людей ударной волной взрыва, тепловое воздействие на конструкционные материалы и людей, токсическое поражение.
--	--	--	--	---

5.4.2 Разработка технических средств и организационных мероприятий по обеспечению пожарной безопасности
технического объекта.

Таблица 5-Технические средства обеспечения пожарной безопасности.

Первичные средства пожаротушения	Мобильные средства пожаротушения	Стационарные установки и системы пожаротушения	Средства пожарной автоматики	Пожарное оборудование	Средства индивидуальной защиты и спасения людей при пожаре	Пожарный инструмент (механизированный и немеханизированный)	Пожарные сигнализации, связь и оповещение.
Переносные и передвижные огнетушители.	Пожарный автомобиль	Дренчерная система.	Извещатели пожарные.	Огнетушители: ОУ-2, ОУ-5, ОУ-8, ОУ-25, ОУ-80, ОПУ-2, ОПУ-5, , ОВП-100, ОВПУ-250, стационарный огнетушитель 2БР-2МА.	Средства индивидуальной защиты органов дыхания и зрения (противогаз).	Мотопомпы, арматура.	Извещатели пожарные (дымовые, тепловые, ручные).
Асбестовое одеяло для изоляции очага возгоран			Приборы приемно-контрольные пожарные.	Пожарные рукава	Средства защиты кожных покровов тела человека	Пожарные насосы,	Телефон

ия.					изолирующие, фильтрующие. Спец.одежда и спец.обувь	Клапаны и муфты	Система световой и звуковой сигнализации по отклонению от технологических параметров.
Песок			Приборы управления пожарные;	Лафетные стволы			
			Технические средства оповещения и управления эвакуацией ;	Гидранты	Каска	Рукавная арматура	Пожарный извещатель.
			Пожарные системы передачи извещений о пожаре.	Кольца орошения колонн			Датчики загазованности.

5.4.3 Организационные (организационно-технические) мероприятия по предотвращению пожара.

Таблица 6-Организационные (организационно-технические) мероприятия по обеспечению пожарной безопасности.

Наименование технологического процесса, оборудования технического объекта	Наименование видов реализуемых организационных (организационно-технических) мероприятий	Предъявляемые требования по обеспечению пожарной безопасности, реализуемые эффекты
Полимеризация изопрен-изопентановых шихты.		Запрещается ведение технологического процесса и эксплуатация оборудования с отключенными или неисправными блокировками, сигнализацией. Строгое соблюдение норм и положений в соответствии с настоящим технологическим регламентом. Соответствие оборудования по давлению, температуре, материалам и процессам, для которых оно предназначено. Своевременное освидетельствование и регистрация котлонадзорного оборудования, грузоподъемных механизмов.

Продолжение таблицы 6

1	2	3
		Исправность средств газозащиты, связи, пожаротушения. Своевременное выполнение графиков планово-предупредительного ремонта. Тщательная подготовка оборудования к ремонту и приём оборудования из ремонта. Четкая организация ремонтных работ и применение во время проведения этих работ безопасных приёмов труда. Своевременное выполнение предписаний Федеральной службы Ростехнадзора и других надзорных органов. Регулярная проверка наличия и поддержания в готовности средств индивидуальной и коллективной защиты.

5.5 Обеспечение экологической безопасности

технического объекта

5.5.1 Идентификация экологических факторов технического объекта.

Таблица 7-Идентификация экологических факторов технического объекта

Наименование технического объекта, технологичес кого процесса	Структурные составляющие технического объекта, технологическо го процесса (производствен ного здания или сооружения по функционально му назначению, технологически е операции, оборудование), энергетическая установка транспортное средство и т.п.	Воздействи е техническ ого объекта на атмосферу (вредные и опасные выбросы в окружающ ую среду)	Воздействие техническог о объекта на гидросферу (образующи е сточные воды, забор воды из источников водоснабжен ия)	Воздействие техническог о объекта на литосферу (почву, растительны й покров, недра) (образование отходов, выемка плодородног о слоя почвы, отчуждение земель, нарушение и загрязнение растительног о покрова и т.д.)
Установка ИП-5 Установка полимериза		Изопентан изопрен, толуол.	Освобожде ние аппаратов и трубопрово	Отработанно е масло от насосов. Мелкие

Продолжение таблицы 7

1	2	3	4	5
ции изопрена	Полимеризаторы №98/1, 98/1/1, 98/1/2		дов при пропарке; Стоки с промышленной площадки; Слив от промывок оборудования, проливов;	разливы углеводородных жидкостей. Разлив раствора щелочи.

5.5.2 Разработанные организационно-технические мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия технического объекта на окружающую среду.

Таблица 8-Разработанные организационно-технические мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия технического объекта на окружающую среду

Наименование технического объекта	Установка полимеризации изопрена
Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на атмосферу	С целью предотвращения попадания формальдегида, метанола в атмосферу, на установке дегазации водного слоя реакторов предусмотрен скруббер № 407, в который для поглощения углеводородов подаётся дистиллят из ёмкости № 404. Неабсорбированные газы скруббера № 407 через каплеотбойник № 407а направляются на

Продолжение таблицы 8

1	2
Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на гидросферу	установку БК-3. При останове установки БК-3 сброс отдувок из колонны № 14/I (№ 14/II) и скруббера № 407 производится на факел. С целью предотвращения попадания лёгких углеводородов в атмосферу, на установке переработки водного конденсата контактного газа разложения ДМД и ВПП предусмотрен скруббер № 37, в который для поглощения углеводородов подаётся дистиллят из ёмкости № 404. Неабсорбированные газы скруббера № 37, через гидрозатвор № 37а, подаются в ёмкость № 83а/II. а) избыточное содержание циркуляционной воды подлежит биологической очистке с помощью флотационных установок, решетки для задержки взвешенных частиц. Таким образом очищенная циркуляционная вода должна содержать взвешенных частиц не более 45 мг/л, ХПК – не более 500 мгО₂/л, рН составляет 6,5 – 8,5. б) сброс оборотной воды при промывке теплообменников подлежит сбросу в

Продолжение таблицы 8

1	2
Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на литосферу	общезаводскую промышленную ливневую канализацию, смешению с ливневыми, условночистыми, водами всех предприятий северного промышленного узла и отведению в Саратовское водохранилище ниже поселка Федоровка через рассеивающий узел. Установленная норма содержания загрязнений в стоках определяется по нескольким критериям: ХПК – 100мгО₂/л, взвешенные частицы – 20 мг/л, БПК – 20 мгО₂/л, рН – 6-9, хлориды – 350 мг/л, храм – 0,001 мг/л, нефтепродукты – 0,3 мг/л. Мелкие разливы углеводородных жидкостей засыпаются песком, который затем лопаткой, изготовленной из не искрящего материала, удаляется в безопасное место или на сжигание. Отработанное масло от насосов, с целью предотвращения загрязнения окружающей среды, собирают в бойлер и вывозят на склад масел. Разлитый раствор щелочи засыпается песком и убирается в специально отведенное место. Для предотвращения загрязнения почвы вредными веществами все технологическое оборудование размещено

Продолжение таблицы 8

1	2
	на бетонированной площадке с отбортовкой и лотками для сбора атмосферных вод в заглубленную емкость.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В разделе «Безопасность и экологичность технического объекта» приведена характеристика технологического процесса полимеризации изопрен-изопентановой шихты, перечислены технологические операции, должности работников, производственно-техническое и инженерно-техническое оборудование, применяемые сырьевые технологические и расходные материалы, комплектующие изделия и производимые изделия (таблица 1).

2. Проведена идентификация профессиональных рисков по осуществляемому технологическому процессу полимеризации изопрен-изопентановой шихты, выполняемым технологическим операциям, видам производимых работ. В качестве опасных и вредных производственных факторов идентифицированы следующие: Взрывоопасность, пожароопасность, электрический ток, движущиеся и вращающиеся части оборудования, использование оборудования, находящегося под давлением, загазованность, вибрация, шум, недостаточное освещение.(таблица 2).

3. Разработаны организационно-технические мероприятия, включающие технические устройства снижения профессиональных рисков, а именно строгое соблюдение норм и положений в соответствии с настоящим технологическим регламентом; ведение технологических операций только на исправном оборудовании при наличии ограждения на вращающихся частях механизмов; соответствие оборудования по

давлению, температуре, материалам и процессам, для которых оно предназначено; своевременное освидетельствование и регистрация котлонадзорного оборудования, грузоподъёмных механизмов; своевременное выполнение графиков планово-предупредительного ремонта. Подобраны средства индивидуальной защиты для работников: спец.одежда, противогаз, каска, защитные очки. (таблица 3).

4. Разработаны мероприятия по обеспечению пожарной безопасности технического объекта. Проведена идентификация класса пожара и опасных факторов пожара и разработка средств, методов и мер обеспечения пожарной безопасности (таблица 4). Разработаны средства, методы и меры обеспечения пожарной безопасности (таблица 5). Разработаны мероприятия по обеспечению пожарной безопасности на техническом объекте (таблица 6).

5. Идентифицированы экологические факторы (таблица 7) и разработаны мероприятия по обеспечению экологической безопасности на техническом объекте (таблица 8)

6 ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

6.1 ОПИСАНИЕ ПРОИЗВОДСТВА И МАРКЕТИНГОВЫЙ АНАЛИЗ

В данном дипломном проекте, при разработке технологии входит модернизация теплообменного оборудования.

Из ниже предложенных в таблице (предлагаемого теплообменного оборудования) производителей теплообменного оборудования, выбран теплообменник производителя ООО «Костромское НПО Нефтехиммаш», г. Кострома. Выбор данного оборудования был сделан по параметрам и техническим характеристикам в соответствии с технологическими расчетами, а также по ценовой категории.

Таблица 6.1-Сравнительные характеристики теплообменного оборудования

Наименование производителя	Техническая характеристика	Цена оборудования, за ед., руб.
1 «Завод Триумф», г. Челябинск	1000 ТУГ-2,5-М8/20Г-6-4-У	26300000
2 ООО «Костромское НПО Нефтехиммаш», г. Кострома	1000ТУГ-2-М8-О/25-4-2-И-гр.1	225000000
3 Производитель «MWL APPARATEBAU GmbH», Германия	1200ТУГ-1-0,6-1,0-М8/25Г-4-1-У-И	25000000
4 ЗАО «ЦЭЭВТ», г.Нижний Новгород	1200ТУГ-1-0,6-1,0-М8/25Г-4-1-У	28100000
5 ЗАО «ПЗЭМ», Пенза.	1200 ТУГ-2,5-М8/20Г-6-4-У	29000000

6.2 РАСЧЁТ ГОДОВОЙ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ МОЩНОСТИ

Таблица 6.2-Краткая характеристика сравниваемых вариантов

Базовый вариант	Проектный вариант
Блок полимеризации изопрена мощностью 52,083 т/ч, фонд рабочего времени 7992 ч/год.	Блок полимеризации изопрена мощностью 55 т/ч, фонд рабочего времени 7992 ч/год.

Производственная мощность определяется по ведущему оборудованию (установки), на котором осуществляется основной процесс для проекта: $M = Q_{\text{час}} \cdot \Phi_{\text{эф}} = 55 \cdot 7992 = 439560$ т/год,

(6.1)

где M - годовая производительность, т/год;

$\Phi_{\text{эф}}$ - эффективное время работы оборудования, ч/год;

$Q_{\text{час}}$ - часовая производительность установки, т/час.

для базового (находим по аналогии с уравнением 6.1):

$$M = 52,083 \cdot 7992 = 416247,33 \text{ т/год.}$$

Результаты расчетов сводятся в таблицу 6.3

Таблица 6.3-Производственная мощность

№	Показатели	Количество	
		базовый	проект
1	Календарная продолжительность года, сут.	365	365
2	Простои оборудования по графику ППР, сут.	32	32
3	Эффективное время работы оборудования, сут.	333	333
4	Эффективное время работы оборудования, час/год	7992	7992
5	Часовая производительность оборудования, т/час	52,083	55
6	Годовая мощность производства	416247,33	439560

6.3 РАСЧЕТ КАПИТАЛЬНЫХ ВЛОЖЕНИЙ

1) Прямые капитальные вложения в основное технологическое оборудование приведены в таблице 6.4

Таблица 6.4-Стоимость внедряемого оборудования

№	Наименование оборудования	Кол-во	Стоимость оборудования, руб.		Амортизация	
			за ед.	всего	%	руб.
1	Полимеризатор	6	$5 \cdot 10^7$	$3 \cdot 10^8$	6,7	20100000
2	Теплообменник	9	$2,25 \cdot 10^7$	$1,35 \cdot 10^8$	6,7	9045000
	Итого			$4,35 \cdot 10^8$		29145000

2) Сопутствующие капитальные вложения.

Часовая заработная плата конструктора

$$Z_{\text{час}} = \frac{O_{\kappa}}{168} = \frac{25000}{168} = 148,8 \text{ руб.}, \quad (6.2)$$

где O_{κ} - размер оклада конструктора, руб.

Затраты на проектирование:

$$K_{\text{пр}} = T_{\text{пр}} \cdot Z_{\text{час}} = 640 \cdot 148,8 = 95232 \text{ руб.}, \quad (6.3)$$

где $T_{\text{пр}} = 640$ – трудоемкость проектирования техники, технологии, ч;

$Z_{\text{час}}$ - часовая заработная плата конструктора, руб./ч.

3) Затраты на доставку и монтаж (демонтаж) оборудования, обвязку трубопроводами, оснащение КИП:

а) доставка 2% от стоимости оборудования $K_{\text{досм}} = 0,02 \cdot 4,35 \cdot 10^8 = 8700000$ руб.

б) монтаж оборудования $K_{\text{монт}} = 0,10 \cdot 4,35 \cdot 10^8 = 43500000$ руб.

в) обвязка трубопроводами $K_{\text{труб}} = 0,08 \cdot 4,35 \cdot 10^8 = 34800000$ руб.

г) оснащение КИП $K_{кип} = 0,03 \cdot 4,35 \cdot 10^8 = 13050000$ руб.

д) пуско-наладочные работы $K_{пн} = 0,02 \cdot 4,35 \cdot 10^8 = 8700000$ руб.

е) демонтаж старого оборудования $K_{дем} = 0,03 \cdot 4,35 \cdot 10^8 = 13050000$ руб.

Сопутствующие капитальные затраты на оборудование:

$$K_{con} = K_{пр} + K_{об} + K_{дост} + K_{монт} + K_{труб} + K_{кип} + K_{пн} + K_{дем} =$$

$$= 95232 + 435000000 + 8700000 + 43500000$$

$$+ 34800000 + 13050000 + 8700000 + 13050000 = 556895232 \text{ руб.},$$

(6.4)

где $K_{пр}$ - затраты на проектирование, руб.;

$K_{об}$ - стоимость оборудования, руб.;

$K_{дост}$ - доставка оборудования, руб.;

$K_{монт}$ - монтаж оборудования, руб.;

$K_{труб}$ - обвязка трубопроводами оборудования, руб.;

$K_{кип}$ - оснащение КИП оборудования, руб.;

$K_{пн}$ - пуско-наладочные работы, руб.;

$K_{дем}$ - демонтаж старого оборудования, руб.

6.4 ОРГАНИЗАЦИЯ ТРУДА РАБОЧИХ

6.4.1 График сменности

Таблица 6.5-Четырехбригадный график сменности

Дни/ часы	Дни месяца															
	1 21	2 22	3 23	4 24	5 25	6 26	7 27	8 28	9 29	10 30	11 31	12	13 17	14 18	15 19	16 20
С 8 до 20	А	Б	В	Г	А	Б	В	Г	А	Б	В	Г	А	Б	В	Г
С 20 до 8	Б	В	Г	А	Б	В	Г	А	Б	В	Г	А	Б	В	Г	А
Вых одны е	В	Г	А	Б	В	Г	А	Б	В	Г	А	Б	В	Г	А	Б
	Г	А	Б	В	Г	А	Б	В	Г	А	Б	В	Г	А	Б	В

На блоке полимеризации изопрен-изопентановой шихты производственная работа организована двумя часовыми сменами по четырех бригадному методу, так как на предприятии непрерывное производство.

Номинальный годовой фонд времени одного рабочего:

$$\Phi_{нр} = (D_k - D_{нр} - D_{вых}) \cdot T_{см} - D_{пред} \cdot T_{сок} = (365 - 14 - 104) \cdot 8 - 6 \cdot 1 = 1970 \text{ ч}$$

(6.5)

где D_k – количество календарных дней в году, дн;

$D_{нр}$ – количество праздничных дней в году, дн;

$D_{вых}$ – количество выходных дней, дн;

$T_{см}$ – продолжительность рабочей смены, ч;

$D_{пред}$ – количество предпраздничных дней, дн;

$T_{сок}$ – время, на которое сокращается предпраздничный день, ч.

Действительный фонд рабочего времени одного рабочего:

$$\Phi_{др} = D_k \cdot T_{дсм} \div 2 = 365 \cdot 12 \div 2 = 2190 \text{ ч},$$

(6.6)

где D_k – количество календарных дней в году, дн;

$T_{дсм}$ – действительная продолжительность смены, ч.

Количество часов переработки сверх нормы рабочего времени:

$$\Phi_{пер} = \Phi_{др} - \Phi_{нр} = 2190 - 1970 = 220 \text{ ч},$$

(6.7)

где $\Phi_{др}$ – действительный фонд рабочего времени одного рабочего, ч;

$\Phi_{нр}$ – номинальный годовой фонд времени одного рабочего, ч.

Действительный эффективный фонд времени одного рабочего:

$$\Phi_{эдр} = \Phi_{др} \cdot (1 - B_0 \div 100) = 2190 \cdot (1 - 12 \div 100) = 1927,2 \text{ ч}$$

(6.8)

где $\Phi_{др}$ – действительный фонд рабочего времени одного рабочего, ч;

B_0 – планируемый процент времени на отпуск рабочих, болезни, %.

Коэффициент подмены:

$$K_{подм} = \Phi_{др} \div \Phi_{эдр} = 2190 \div 1927,2 = 1,136 \text{ ч}$$

(6.9)

где $\Phi_{др}$ – действительный фонд рабочего времени одного рабочего, ч;

$\Phi_{эдр}$ – действительный эффективный фонд времени одного рабочего, ч.

Списочная численность:

$$Ч_{сп} = K_{подм} \cdot Ч_{я} = 1,136 \cdot 4 = 5 \text{ чел}$$

(6.10)

где $K_{под}$ – коэффициент подмены;

$Ч_{я}$ – явочное число рабочих в сутки, чел.

Аналогично формуле (6.10) рассчитываем списочную численность для остальных рабочих. Результаты заносим в таблицу 6.5

Таблица 6.6-Штаты рабочих цеха

Состав Бригады	Разр яд	Явочное число рабочих		Коэффи циент подмен ы	Списочная численность рабочих в бригаде
		в смену	в сутки		
1.Производственные рабочие					
1.1) аппаратчик	6	2	4	1,136	5
1.3) слесарь	6	2	4	1,136	5
1.4) электрик	6	2	4	1,136	5
1.5) слесарь КИПиА	6	2	4	1,136	5
2. Дежурный персонал					
2.1) дежурный слесарь	6	2	4	1,136	5
Итого		10	20		25

Расчет численности ИТР показываем в таблице 6.7

Таблица 6.7-Расчет численности ИТР

Наименование должностей	Количество штатных единиц	Должностной оклад
Начальник цеха	1	50000
Заместитель начальника цеха	1	35000
Мастер смены	3	25000
Энергетик	1	25000
Механик цеха	1	25000

6.5 ЗАРАБОТНАЯ ПЛАТА РАБОЧИХ

Тарифная ставка рабочего 6 – го разряда:

$$T_{ст.6.раз} = 75,5 \text{руб/час.}$$

Оплата по тарифу:

$$Z_{тар} = T_{ст.6.раз} \cdot \Phi_{эдр} \cdot \sum Ч_{сн} = 75,5 \cdot 1927,2 \cdot 25 = 3637590 \text{руб.}, \quad (6.11)$$

где $T_{ст.6.раз}$ – тарифная ставка рабочего 6 – го разряда, руб./час;

$\Phi_{эдр}$ – действительный эффективный фонд времени одного рабочего, ч;

$Ч_{сн}$ – списочная численность рабочих, чел.

Расчет премии:

$$Z_{прем} = Z_{тар} \cdot K_{прем} = 3637590 \cdot 0,2 = 727516 \text{руб.}, \quad (6.12)$$

где $Z_{тар}$ – оплата по тарифу, руб;

$K_{прем}$ – коэффициент премирования.

Доплата за работу в праздничные дни:

$$Z_{праз} = T_{ст.6.раз} \cdot t_{см} \cdot n_{см} \cdot Ч_{я} \cdot D_{пр} = 75,5 \cdot 12 \cdot 2 \cdot 10 \cdot 14 = 253680 \text{руб.}, \quad (6.13)$$

где $T_{ст.6.раз}$ – тарифная ставка рабочего 6 – го разряда, руб./час;

$t_{см}$ – продолжительность смены, ч;

$n_{см}$ – число смен в сутки,

$Ч_{я}$ —явочное число рабочих в смену, чел;

$Д_{пр}$ – количество праздничных дней в году, дн.

Доплата за работу в ночное время:

$$З_{ноч} = З_{тар} \cdot (1 + K_n) \div 3 = 3637590 \cdot (1 + 0,2) \div 3 = 1455036 \text{ руб.}, \quad (6.14)$$

где $З_{тар}$ —оплата по тарифу, руб.;

K_n — коэффициент доплат за работу в ночное время.

Основной фонд заработной платы:

$$З_{осн} = З_{тар} + З_{прем} + З_{праз} + З_{ноч} = 3637590 + 727518 + 253680 + 1455036 = 6073824 \text{ руб.}, \quad (6.15)$$

где $З_{тар}$ - оплата по тарифу, руб.;

$З_{прем}$ - премия, руб.;

$З_{праз}$ - доплата за работы в праздничные дни, руб.;

$З_{ноч}$ - доплата за работы в ночное время, руб.

Оплата дней отпуска:

$$З_{отм} = З_{осн} \cdot (\Phi_{др} - \Phi_{эдр}) \div \Phi_{эдр} = 6073824 \cdot (2190 - 1927,2) \div 1927,2 = 828248,5 \text{ руб.}, \quad (6.16)$$

где $З_{осн}$ —основной фонд заработной платы, руб.;

$\Phi_{др}$ — действительный фонд рабочего времени одного рабочего, ч;

$\Phi_{эдр}$ — действительный эффективный фонд времени одного рабочего, ч.

Оплата ученических отпусков:

$$З_{уч} = З_{осн} \cdot T_{уч} \div \Phi_{эдр} = 6073824 \cdot 28 \div 1927,2 = 88245,68 \text{ руб.}, \quad (6.17)$$

где $З_{осн}$ - основной фонд заработной платы, руб.;

$T_{уч}$ – продолжительность ученического отпуска, дн;

$\Phi_{эдр}$ — действительный эффективный фонд времени одного рабочего, ч.

Оплата выполнения государственных обязанностей:

$$Z_{\text{гос}} = Z_{\text{осн}} \cdot T_{\text{гос}} \div \Phi_{\text{эдр}} = 6073824 \cdot 1 \div 1927,2 = 3151,63 \text{ руб.},$$

(6.18)

где $Z_{\text{осн}}$ - основной фонд заработной платы, руб.;

$T_{\text{гос}}$ – время выполнения гос.обязанностей, дн;

Дополнительный фонд заработной платы:

$$Z_{\text{доп}} = Z_{\text{отп}} + Z_{\text{уч}} + Z_{\text{гос}} = 828248,5 + 88245,68 + 3151,63 = 919645,81 \text{ руб.}$$

(6.19)

где $Z_{\text{отп}}$ - оплата дней отпуска, руб.;

$Z_{\text{уч}}$ - оплата ученических отпусков, руб.;

$Z_{\text{гос}}$ - оплата выполнения государственных обязанностей, руб.

Годовой фонд заработной платы:

$$Z_{\text{год}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}} = 6073824 + 919645,81 = 6993469,8 \text{ руб.},$$

(6.20)

где $Z_{\text{осн}}$ - основной фонд заработной платы, руб.;

$Z_{\text{доп}}$ – дополнительный фонд заработной платы, руб.

Отчисления на страховые выплаты:

$$OCB = Z_{\text{год}} \cdot K_c = 6993469,8 \cdot 0,3 = 2098040,94 \text{ руб.},$$

(6.21)

где $Z_{\text{год}}$ - годовой фонд заработной платы, руб.;

K_c – коэффициент страховых выплат (30%).,

6.6 РАСЧЕТ ГОДОВОГО ФОНДА ЗАРАБОТНОЙ ПЛАТЫ ИТР

Основная заработная плата:

$$\begin{aligned} Z_{\text{годИТР}} &= T_{\text{окл}} \cdot 12 \cdot Ч_{\text{снИТР}} = 50000 \cdot 12 \cdot 1 + 35000 \cdot 12 \cdot 1 + 25000 \cdot 12 \cdot 5 \\ &= 2520000 \text{ руб.} \end{aligned}$$

(6.22)

где $T_{\text{окл}}$ – оклад, руб.;

12 – количество месяцев в году;

$Ч_{снИТР}$ – число ИТР, чел.

Аналогично формуле (6.12) рассчитываем премию. Она начисляется в зависимости от процента ($P = 40\%$) по премиальному положению ИТР.

$$З_{прем} = 2520000 \cdot 0,4 = 1008000 \text{ руб.},$$

Доплата за работу в праздничные дни:

$$З_{празд} = T_{окл} \div 176 \cdot t_{см} \cdot n_{см} \cdot Ч_{я} \cdot Д_{пр} = 50000 \div 176 \cdot 8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 14 + 35000 \div 176 \cdot 8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 14 + 25000 \div 176 \cdot 8 \cdot 5 \cdot 1 \cdot 14 = 133636,36 \text{ руб.},$$

(6.23)

где $T_{окл}$ – оклад, руб.;

176 – количество рабочих часов в месяц ИТР;

$t_{см}$ – продолжительность смены, ч;

$n_{см}$ – число смен в сутки,

$Ч_{я}$ – явочное число рабочих в смену, чел;

$Д_{пр}$ – количество праздничных дней в году, дн.

Аналогично по формулам (6.14) – (6.21) рассчитываем для ИТР.

Доплата за работу в ночное время:

$$З_{ноч} = 2520000 \cdot (1 + 0,2) \div 3 = 1008000 \text{ руб.}$$

Дополнительный фонд заработной платы:

$$З_{доп} = (50000 \cdot 1 + 35000 \cdot 1 + 25000 \cdot 5) + \left(\frac{50000}{22}\right) \cdot 1 \cdot 1 + \left(\frac{35000}{22}\right) \cdot 1 + \left(\frac{25000}{22}\right) \cdot 1 \cdot 5 + \left(\frac{50000}{22}\right) \cdot 1 \cdot 1 + \left(\frac{35000}{22}\right) \cdot 1 \cdot 1 + \left(\frac{25000}{22}\right) \cdot 1 \cdot 5 = 219090,88 \text{ руб}$$

Основной фонд заработной платы:

$$З_{осн} = 2520000 + 1008000 + 133636,36 + 1008000 = 4669636,36 \text{ руб.}$$

Расчет годового фонда заработной платы И.Т.Р.:

$$Z_{\text{зод}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{дон}} = 4669636,3 + 219090,88 = 4888727,1 \text{ руб.}$$

Отчисления на страховые выплаты:

$$OCB = Z_{\text{зод}} \cdot K_c = 4888727,1 \cdot 0,3 = 1466618,3 \text{ руб.}$$

Результаты сводим в таблицу 6.8

Таблица 6.8-Расчет фонда заработной платы рабочих цеха

Группа Рабочих	Численность рабочих	Оплата	Доплата			Основной фонд заработной платы	Дополнительная заработная плата	Годовой фонд заработной платы	Отчисления на страховые выплаты
			Премия	Праздничные	Ночная смена				
1. Производственные рабочие	25	3637590	727518	253680	1455036	6073824	919645,81	6993469,8	2098040,94
2. ИТР	7	2520000	1008000	133636,36	1008000	4669636,3	219090,88	4888727,1	1466618,13
Итого	32	6157590	1735518	387316,36	2463036	10743460,3	1138736,6	11882196,9	3564659,07

6.7 РАСЧЁТ СЕБЕСТОИМОСТИ ПРОДУКЦИИ

Основная заработная плата рабочим на 1 тонну продукции:

$$Z_{осн.уд} = Z_{осн} \div M = 10743460,3 \div 439560 = 24,44 \text{ руб.},$$

(6.24)

где $Z_{осн}$ - основной фонд заработной платы, руб.;

M - годовая мощность производства, т/год.

Дополнительная заработная плата рабочим на 1 тонну продукции:

$$Z_{осн.уд} = Z_{доп} \div M = 1138736,6 \div 439560 = 2,59 \text{ руб.},$$

(6.25)

где $Z_{доп}$ - дополнительный фонд заработной платы, руб.;

M - годовая мощность производства, т/год.

Удельные отчисления на страховые выплаты:

$$OCB_{уд} = OCB \div M = 3564659,07 \div 439560 = 8,11 \text{ руб.},$$

(6.26)

где OCB - отчисления на страховые выплаты, руб.;

M - годовая мощность производства, т/год.

6.8 РАСЧЕТ РАСХОДОВ НА СОДЕРЖАНИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИЮ ОБОРУДОВАНИЯ

Текущий ремонт и содержание оборудования - 30% от амортизации оборудования.

$$29145000 \cdot 0,3 = 8743500 \text{ руб.}$$

Износ и восстановление инструментов – 5% от амортизации оборудования.

$$29145000 \cdot 0,05 = 1457250 \text{ руб.}$$

Прочие расходы – 1 % от амортизации.

$$29145000 \cdot 0,01 = 291450 \text{ руб.}$$

Полученные результаты заносим в таблицу 6.8.

Таблица 6.9-Затраты на содержание и эксплуатацию оборудования

№ п/п	Наименование статей расходов	Сумма, руб.
1	Амортизация производственного оборудования	29145000
2	Текущий ремонт и содержание оборудования	8743500
3	Износ и восстановление инструментов	1457250
4	Прочие расходы	291450
	Итого	39637200

Затраты на 1 тонну продукции составят:

$$Z_{(1m)} = \sum_{затр} \div M = 39637200 \div 439560 = 90,17 \text{руб.}, \quad (6.27)$$

где $\sum_{затр}$ - затраты на содержание и эксплуатацию оборудования, руб.;

M - годовая мощность производства, т/год.

6.9 РАСЧЕТ ЦЕХОВЫХ РАСХОДОВ

Содержание цехового персонала – включает годовую заработную плату и отчисления на ОСВ ИТР.

$$11882196,9 + 3113135,5 = 14995332,4 \text{руб.}$$

Амортизация зданий – по данным сметы.

Содержание зданий – по данным сметы.

Затраты на реализацию, опыты, исследования – 1 % от общей заработной платы всех работников.

Затраты на охрану труда – 10 % от зарплаты всех работающих.

Прочие расходы – 0,5% от общей заработной платы всех работников.

Таблица 6.10-Затраты на цеховые нужды

№ п/п	Наименование статей расхода	Сумма, руб.
1	Содержание цехового персонала	14995332,4
2	Амортизация зданий	1005000
3	Содержание зданий	15000000
4	Затраты на реализацию, опыты, исследования	149953,32
5	Затраты на охрану труда	1499533,2
6	Прочие расходы	74976,66
	Итого	32724795,58

Затраты на цеховые нужды на 1 тонну продукции рассчитываем аналогично

(6.27):

$$Z_{(1m)} = 32724795,58 \div 439560 = 74,45 \text{руб.}$$

Таблица 6.11-Сравнение статей расхода на 1 т продукции

№ п/п	Название статей расхода	Ед. изм.	Базовый вариант			Проектный вариант		
			Кол.	Цена за ед.прод., руб.	Сумма, руб.	Кол.	Цена за ед.прод., руб.	Сумма, руб.
1	Сырье и материалы							
	Изопрен-изопентановая шихта	тыс. м ³	1,019	2360	2404,84	1,019	2360	2404,84
	Каталитический комплекс	тыс. м ³	0,001	5680	5,68	0,001	5680	5,68
	Толуол	т	0,129	40000	5160	0,129	40000	5160
	Метанол	т	0,039	8400	327,6	0,039	8400	327,6
2	Энергетические средства, топливо							
	Электроэнергия	тыс. кВт*ч	0,5	3440	1720	0,4	3440	1376
	29% раствор хлорида кальция	тыс. т	0,00126	760	0,9576	0,00126	760	0,9576
	Пар	Гкал	5,7	1350	7695	5,7	1350	7695
3	Основная зарплата рабочим				25,81			24,44
4	Дополнительная зарплата рабочим				2,74			2,59
5	отчисления на страховые выплаты				8,56			8,11
6	Содержание на эксплуатацию оборудования				95,22			90,17
7	Цеховые расходы				78,62			74,45
8	Цеховая себестоимость				17525,03			17169,84

6.10 РАСЧЁТ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ

6.10.1 Снижение себестоимости

Себестоимость 1 тонны продукции, по проектному варианту в %:

$$X = C_2 \cdot 100 \div C_1 = 17169,84 \cdot 100 \div 17525,03 = 97,97\%.$$

(6.28)

где C_2 – себестоимость одной тонны продукции по проектному варианту, руб.;

C_1 – себестоимость одной тонны продукции по базовому варианту, руб.

Процент снижения себестоимости $100 - 97,97 = 2,03\%$.

6.10.2 Ожидаемая прибыль

$$\Pi_{ож} = (C_1 - C_2) \cdot M = (17525,03 - 17169,84) \cdot 439560 = 156127316,4 \text{руб.},$$

(6.29)

где C_1 – себестоимость одной тонны продукции по базовому варианту, руб.;

C_2 – по проектному, руб.;

M – производственная мощность, т/год.

6.10.3 Налог на прибыль

$$H_{пр} = \Pi_{ож} \cdot K_{нал} = 156127316,4 \cdot 20 \div 100 = 31225463,28 \text{руб.},$$

(6.30)

где $\Pi_{ож}$ - ожидаемая прибыль, руб.;

$K_{нал}$ – 20% налог на прибыль.

6.10.4 Чистая ожидаемая прибыль

$$\Pi_{чист} = \Pi_{ож} - H_{пр} = 156127316,4 - 31225463,28 = 124901853 \text{руб.},$$

(6.31)

где $\Pi_{ож}$ - ожидаемая прибыль, руб.;

$H_{пр}$ - налог на прибыль, руб.

6.10.5 Срок окупаемости капитальных вложений

$$T_{ок} = K_{кон} \div \Pi_{чист} = 556895232 \div 124901853,12 = 4,5 года,$$

(6.32)

где $K_{кон}$ – сопутствующие капитальные затраты, руб.;

$\Pi_{пр}$ - чистая ожидаемая прибыль, руб.

6.11 ВЫВОД

В результате замены типа реактора полимеризации и теплообменника для охлаждения изопрен-изопентановой смеси произошли следующие экономические изменения:

№	Показатели	Ед.изм	Базовый вариант	Проектный вариант	Отклонения
1.	Производственная мощность	т/год	416247,33	439560	-23312,67
2.	Себестоимость продукции	руб/т	17525,03	17169,84	-355,19
3.	Условно-годовая экономия	руб	-	156127316,4	-
4.	Капитальные вложения	руб	-	556895232	-
5.	Чистая прибыль	руб	-	124901853,12	-
6.	Срок окупаемости	лет	-	4,5	-

1. Производительность блока была увеличена по сравнению с базовым вариантом с 52,083 т/ч до 55т/ч, фонд рабочего времени остался прежним 7992 ч/год;

2. Снизилось количество потребляемой энергии на 20%.

В результате применения данной схемы изменений в потреблении сырья не произошло

В результате проведенного экономического расчета внедрения нового оборудования, увеличивающего мощность блока полимеризации изопрена с 52,083 т/ч до 55 т/ч, общие капитальные вложения составили 556895232 руб., себестоимость продукции уменьшилась на 355,19 руб./т, чистая прибыль составляет 124901853,12 руб., а срок окупаемости – 4,5 лет, следовательно, проект эффективен.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данном дипломном проекте был выполнен следующий объем работы:

- 1) проведен анализ механизма полимеризации высокомолекулярных соединений;
- 2) проведен литературный обзор процесса полимеризации;
- 3) рассмотрена технология блока полимеризации;
- 4) разработан аппарат полимеризации изопрен-изопентановой шихты, с принципиально новым типом мешалки, исключаящим «застойные» зоны и интенсифицирующим процесс полимеризации и отвод тепла экзотермической реакции образования полимера;
- 5) проведен экономический расчет, который показал экономическую эффективность проекта;
- 6) были рассмотрены вопросы безопасности и экологичности проекта.

Результаты проделанной работы выявляют ряд преимуществ предлагаемой технологии реконструкции блока полимеризации:

- 1) применение новых типов мешалки позволит увеличить производительность и интенсифицировать процесс полимеризации;
- 2) установки теплообменного оборудования с большей поверхностью теплообмена, позволит обеспечить подачу продукта в блок полимеризации в диапазоне рабочих температур.
- 3) положительный экологический эффект.
- 4) положительный экономический эффект (экономия сырья, снижение себестоимости продукции...).

Из выше изложенного следует, что тема диплома «Увеличение производительности блока полимеризации изопрена» является актуальной, в связи с повышенным спросом на изопреновый каучук.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Рейхсфельд В.О., Шеин В.С., Ермаков В.И. «Реакционная аппаратура и машины заводов основного органического синтеза и синтетического каучука»;
2. Кирпичников П.А., Аверко-Антонович Л.А., Аверко-Антонович Ю.О. «Химия и технология синтетического каучука»;
3. Крамерс Х., Вестертерп К. «Химические реакторы»;
4. Брайнес Я.М. «Введение в теорию и расчеты химических и нефтехимических реакторов»;
5. Варгафтик Н.Б. «Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей»;
6. Дытнерский Ю.И. «Основные процессы и аппараты химической технологии»;
7. ГОСТ 15118 – 69. «Аппараты теплообменные кожухотрубчатые с неподвижными трубными решетками и кожухотрубчатые с температурным компенсатором на кожухе»;
8. ГОСТ 14249 – 89. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность;
9. Бажан П.И., Каневец Г.Е., Селиверстов В.М. «Справочник по теплообменным аппаратам»;
10. Справочник химика, I том;
11. Лебедев И.И. «Химия и технология основного органического и нефтехимического синтеза»;
12. Лицензионная программа «Технолог»;
13. ГОСТ 6533 –78. Днища эллиптические отбортованные стальные для сосудов, аппаратов и котлов; 119
14. РД 26 –15 –88.(ОСТ 26 –01 –396 –78). Нормы и методы расчета на прочность и герметичность фланцевых соединений;
15. РД 26 –14 –88. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на

- прочность. Элементы теплообменных аппаратов;
- 16.ГОСТ 25859 –83., (СТ СЭВ 3648 –82), Сосуды и аппараты стальные. Нормы и методы расчета на прочность при малоцикловых нагрузках;
- 17.ТУ 26 –02 –1090 –88. Каталог теплообменных аппаратов;
- 18.Бесчастнов М.В. «Промышленные взрывы. Оценка и предупреждение», М.: Химия, 1991. 432с.;
- 19.ПБ 09 –170 –97. Общие правила взрывобезопасности для взрывопожарных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств., М.: Госгортехнадзор России, 1997. 86с.;
- 20.НПБ 107 –97. Нормы пожарной безопасности. Определение категорий наружных установок по пожарной опасности;
- 21.Адушкин В.В., Кочарго С.М., Лялин А.Г. «Расчет безопасных расстояний при газовом взрыве в атмосфере», Сборник «Взрывное дело», М.: Недра, 1975;
- 22.Туторский И.А., Потапов Е.Э., Шварц А.Г. Химическая модификация эластомеров.- 1993.- 304с.;
- 23.Смирнов В.П. и др. Свойства синтетического цис-1,4-полиизопрена, содержащего в полимерной цепи гидроксильные группы.- Каучук и резина, 1975г. №9, с.5-7;
- 24.Отчет НИР №02850039469. Модификация цис-полиизопренового каучука СКИ-3 малеиновым ангидридом. – В сб. Рефератов НИР и ОКР, сер. 17, 1986, №36;
- 25.Пат. 4446281 (США). Modified cis-1,4-polyisopren rubber, a process for manufacchering the same and a composition containing the same/ Takamatsu H., Minatono S –Опубл. в РЖХим, 1985, т. 4, № I 2П;
- 26.Заявка 2113692 (Великобритания). Gelling Jan Richard.- Опубл. в РЖХим 1984, т.9, №Т 2004П; 120
- 27.Натуральный каучук / Под общ. ред. А. Робертса.- М.: Мир,1990,1т. –665 с.;
- 28.Тукжиков О.И. и др. Модификация цис-1,4-полиизопрена нитритом

- натрия в кислой среде/ В сб. химия и технология элементарорганических мономеров и полимерных материалов.-Волгоград, 1994, с75-81;
- 29.А.с. № 1666464 (1991) Способ получения модифицированного цис-1,4-полиизопрена/ Тужиков О.И. и др.;
- 30.Чертов А.Г. «Единицы физических величин».
- 31.ГОСТ 24755-89 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Укрепления отверстий,1989-29с.
- 32.ГОСТ 26202-84 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность обечаек и днищ от воздействия опорных нагрузок, 1989-48 с.
- 33.Гутник, С.П. Расчеты по технологии органического синтеза. М: Химия, 1988. – 272 с.
- 34.Кафаров, В.В., Глебов, М.Б. Математическое моделирование основных процессов химических производств. - М.: Высш.шк.,1991.-440с.
- 35.Поникаров, И.И. Расчеты машин и аппаратов химических производств и нефтегазопереработки / И.И. Поникаров., С.И. Поникаров., С.В. Рачковский. – М.: Альфа MISBN, 2008. – 721с.
- 36.Анурьев, В.И. Справочник конструктора – машиностроителя. М: Машиностроение, 1980. – 557 с.
- 37.Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию/Г. С. Борисов, В.П.Брыков, Ю.И. Дытнерский и др. Под ред.Ю.И.Дытнерского, 2-е изд., перераб. и дополн. М.:Химия, 1991. - 496 с.
- 38.Общая химическая технология: Учеб.для химико-техн.спец.вузов. В 2-х т. Т.1: Теоретические основы химической технологии/И.П.Мухлёнов, А.Я.Авербух, Е.С.Тумаркина и др.; Под ред. И.П.Мухлёнова.- 4-е изд., перераб. и доп.- М.: Высш.шк., 1984.- 256 с., ил.
- 39.Общий курс процессов и аппаратов химической технологии: Учебник для вузов.Кн.1,2. / Под общ. ред. В.Г. Айнштейна. – М. : Химия, 1999. – 869 с.
- 40.Огородников, С.К. Формальдегид.- Л.: Химия, 1984. – 280 с.

- 41.Павлов, К.Ф., Романков, П.Г., Носков, А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии : Учебное пособие для вузов. 10 изд., пер. и доп. – Л. : Химия, 1987. - 587 с.
- 42.Уокер Дж. Ф. Формальдегид. - Госхимиздат, 1957-130 с.
- 43.Механика твёрдого тела. Лекции.(Университетский курс общей физики) //В.А.Алешкевич, Л.Г.Деденко, В.А. Караваев -М.: Издательство Физического факультета МГУ (НЭВЦ ФИПТ), 1997, - 72 с., ил.
- 44.Статистическая теория необратимых процессов / Р.Айзеншиц - М.: Изд. Иностран. лит., 1963, - 127 с
- 45.Кузнецов, А.А., Кагерманов, С.М., Судаков, Е.Н. Расчеты процессов и аппаратов нефтеперерабатывающей промышленности. Изд. 2-е, пер. и доп.-Л.: Химия, 1974.-375 с.
- 46.Единицы физических величин и их размерности / Л.А. Сена
- 47.Покорение вещества. Органическая химия: Учебное пособие. СПб: Химиздат, 1999. -272 с., ил.
- 48.Практические работы по органической химии / Л.Гаттерман, Г.Виланд - 5-е изд., Государственное научно-техническое издательство химической литературы - М.: 1948
- 49.Кластеры и малые частицы / Ю.И.Петров. -М.: Наука. -368 с.
- 50.Техника безопасности в химических лабораториях: Справ.изд. - 2-е изд., перераб. и доп. - Л.: Химия, 1991. - 336 с.; ил.
- 51.Алгоритмы оптимизации Майника Э. Алгоритмы оптимизации на сетях и графах: Пер. с англ. - М.: Мир, 1981. - 323 с., ил.
- 52.Химическая энциклопедия: В 5 т.: т. 1: А - Дарзана / Редкол.: Кнунянц И.Л. (гл.ред.) и др. - М.: Сов.энцикл.,1988. -623 с.: ил.
- 53.Химическая энциклопедия: В 5 т.: т. 2: Даффа - Меди / Редкол.: Кнунянц И.Л. (гл.ред.) и др. - М.: Сов.энцикл.,1990. -671 с.: ил.
- 54.Химическая энциклопедия: В 5 т.: т. 3: Меди - Полимерные / Редкол.: Кнунянц И.Л. (гл.ред.) и др. - М.: Большая Российская энцикл.,1992. -639 с.: ил.

- 55.Химическая энциклопедия: В 5 т.: т. 4: Полимерные - Трипсин / Редкол.: Зефилов Н.С. (гл.ред.) и др. - М.: Большая Российская энцикл.,1995. -639 с.: ил.
- 56.Химическая энциклопедия: В 5 т.: т. 5: Триптофан - Ятрохимия / Редкол.: Зефилов Н.С. (гл.ред.) и др. - М.: Большая Российская энцикл.,1998. -783 с.: ил.
- 57.Краткий справочник физико-химических величин под ред.К.П.Мищенко и А.А.Равделя, Л.: Химия, 1974, - 200 с.
- 58.Кан Р., Дермер О. Введение в химическую номенклатуру: Пер. с англ./ Под ред. В.М.Потапова и Р.А.Лидина. - М.: Химия, 1983. -224 с.
- 59.Аверко-Антонович, Л. А., Химия и технология синтетического каучука, учебник для вузов. М.: Колосс, 2008.- 357с.
- 60.Рябов, В.Д. Химия нефти и газа. Учеб. для вузов – М.: Изд. «Техника» ГУМА ГРУПП, 2004. – 288
- 61.Горфикель, В.Я., Швандар, В.А. Экономика предприятия: учебник для вузов- 3-е изд., перераб. и доп.- М.: ЮНИТИ- ДАНА, 2003.-713 с.
- 62.Постоянный технологический регламент производства бутадиена ТР-И-9-26-12
- 63.Плановский, А.Н., Рамм В.М., Коган С.З. Процессы и аппараты химической технологии. 5-е изд.– М. : Химия, 1968. – 847 с.
- 64.Плановский, А.Н., Николаев, П.И. Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии. - М.: Химия, 1987.-540 с.
- 65.Закгейм, А.Ю. Введение в моделирование химико-технологических процессов. - М.: Химия, 1982.
- 66.Теплотехнический справочник / под.ред. С.Г. Герасимова. – М.: Энергия, 1957. – 386 с.
- 67.Альперт, Л.З. Основы проектирования химических установок.- М.: Высш. шк., 1982. – 304 с.
- 68.Романков, П.Г. и др. Методы расчета процессов и аппаратов химической технологии (примеры и задачи) : Учеб. пособие для вузов. / П.Г.

- Романков, В.Ф. Фролов, О.М. Флисюк, М.И. Курочкина. – СПб. : Химия, 1993. – 496 с.
- 69.Брейман, М.И. Инженерные решения по технике безопасности в пожаро- и взрывоопасных производствах / М.И. Брейман. – М.: Химия, 1973. – 344 с.
- 70.ТУ 3612-002-48158319-2008. Аппараты теплообменные кожухотрубчатые с неподвижными трубными решетками и кожухотрубчатые с температурным компенсатором на кожухе.
- 71.Постоянный технологический регламент установки полимеризации изопрена ТР-ИП-5-16-11

ПРИЛОЖЕНИЕ А-Спецификация полимеризатора

[illegible]