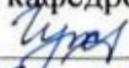


**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
**АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**  
**(ФГБОУ ВО «АмГУ»)**

Факультет инженерно-физический  
Кафедра химии и химической технологии  
Направление подготовки 18.03.01 – Химическая технология  
Направленность (профиль) образовательной программы Химическая  
технология природных энергоносителей и углеродных материалов

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ  
Зав. кафедрой  
 Ю.А. Гужель  
« 28 » июня 2021 г.


**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

на тему: Расчёт установки полипропилена


Исполнитель  
студент группы 718-об

 18.06.2021 Е.Д. Шпак  
(подпись, дата)

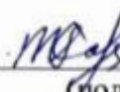
Руководитель  
доцент, канд. хим. наук

 22.06.2021 С.А. Лескова  
(подпись, дата)

Консультант по безопасности  
жизнедеятельности  
доцент, канд. техн. наук

 12.06.2021 А.В. Козырь  
(подпись, дата)

Нормоконтроль  
проф., док. хим. наук

 23.06.21 Т.А. Родина  
(подпись, дата)

Благовещенск 2021

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
**АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**  
(ФГБОУ ВО «АмГУ»)

Факультет Инженерно-физический  
Кафедра Химии и химической технологии

УТВЕРЖДАЮ  
Зав. кафедрой  
\_\_\_\_\_ Ю.А. Гужель  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**З А Д А Н И Е**

К выпускной квалификационной работе студента Шпак Елены Дмитриевны

1. Тема выпускной квалификационной работы: «Расчёт установки полипропилена» утверждена Приказом от 30.04.2020 г № 810-уч
2. Срок сдачи студентом законченной работы 29.06.2021 г.
3. Исходные данные к выпускной квалификационной работе: Производительность установки полипропилена – 550 тыс. т/год. Годовое время работы установки – 8000 часов. Температура в реакторе 80 °С. Температура свежего пропилена 22 °С. Технологическая документация, нормативная документация, литературные данные
4. Содержание выпускной квалификационной работы (перечень подлежащих разработке вопросов): Литературный обзор по производству полипропилена. Характеристика сырья и готовой продукции установки полимеризации. Описание технологической схемы производства полипропилена. Составление материального баланса. Расчет петлевого реактора, конденсатора, сушилки, насоса.
5. Перечень материалов приложения: Технологическая схема производства полипропилена.
6. Консультанты по выпускной квалификационной работе Козырь А.В., канд. техн. наук, доцент; раздел «Безопасность и экологичность производства»
7. Дата выдачи задания 14.05.2021 г

Руководитель выпускной квалификационной работы: Лескова Светлана Анатольевна, доцент, канд. хим. наук

Задание принял к исполнению 14.05.2021 г.

\_\_\_\_\_

## РЕФЕРАТ

Бакалаврская работа содержит 64 с., 11 таблиц, 13 рисунков, 40 источника.

### ПРОПИЛЕН, ПОЛИМЕР, ПОЛИМЕРИЗАЦИЯ, КАТАЛИЗАТОР, РЕАКТОР, ПОЛИПРОПИЛЕН, КОНДЕНСАТОР, НАСОС, СУШИЛКА

В работе рассмотрена жидкофазная технология получения полипропилена (гомополимера) в петлевых реакторах.

Цель работы – разработка технологической схемы установки жидкофазной полимеризации, составление материального и теплового балансов узла полимеризации, а также расчет основного и вспомогательного оборудования.

В процессе работы рассмотрены свойства полипропилена, механизм реакций полимеризации, варианты применяемых катализаторов. Была рассмотрена установка производства полипропилена на ООО «ЗапСибНефтехим», характеристики сырья и готовой продукции. Изучено устройство основных аппаратов, их назначение и особенности эксплуатации. В работе выполнен расчет материального и теплового баланса, а также посчитано основное и вспомогательное оборудование. В заключительной части работы представлена принципиальная технологическая схема установки.

					<b>ВКР.171920.180301.ПЗ</b>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
Разраб.		Шпак Е.Д.			<i>Расчёт установки полипропилена</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
Провер.		Лескова С.А.					3	64
Н. контр.		Родина Т.А.				<i>АмГУ, ИФФ, гр. 718-об</i>		
Зав. каф.		Гужель Ю.А.						

## СОДЕРЖАНИЕ

Определения, обозначения, сокращения	6
Введение	7
1 Литературный обзор	9
1.1 Свойства полипропилена	9
1.2 Механизм реакции полимеризации пропилена	13
1.2.1 Механизм полимеризации на катализаторах Циглера-Натта	15
1.2.2 Катализаторы процесса	16
1.2.2.1 Приготовление титан-магниевых каталитических систем	19
1.3 Технологии процесса	20
1.4 Аппаратурное оформление процесса	22
1.4.1 Реакторы полимеризации	22
1.4.2 Теплообменники	24
1.4.3 Насосы	25
1.4.4 Циклон	27
1.4.5 Фильтр	28
1.5 Применение полипропилена	29
2 Технологическая часть	31
2.1 Характеристики сырья	31
2.2 Характеристики готовой продукции	33
2.3 Описание технологического процесса	35
2.4 Материальный и тепловой баланс	41

					<b>ВКР.171920.180301.ПЗ</b>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
Разраб.		Шпак Е.Д.			<i>Расчёт установки полипропилена</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
Провер.		Лескова С.А.					4	64
Н. контр.		Родина Т.А.				<i>АмГУ, ИФФ, гр. 718-об</i>		
Зав. каф.		Гужель Ю.А.						

2.5	Технологический расчет оборудования	48
2.5.1	Расчет реактора	48
2.5.2	Расчет компрессора	50
2.5.3	Расчет сушилки	52
2.5.4	Расчет насоса	53
3	Безопасность и экологичность	56
3.1	Воздействие на окружающую среду веществ, используемых на установке	56
3.2	Основные требования безопасности при эксплуатации установки	57
	Заключение	59
	Библиографический список	60

## ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ

В настоящей бакалаврской работе применяются следующие термины с соответствующими определениями:

ПП – полипропилен

АПП – атактический полипропилен

ИПП – изотактический полипропилен

СПП – синдиотактический полипропилен

НЗХ – низкотемпературный хладагент

ТЭАЛ – триэтилалюминий

ПДК – предельно допустимая концентрация

ТВС – топливно-воздушная смесь

					<b>ВКР.171920.180301.ПЗ</b>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Шпак Е.Д.</i>			<i>Расчёт установки полипропилена</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Провер.</i>		<i>Лескова С.А.</i>					6	64
<i>Н. контр.</i>		<i>Родина Т.А.</i>				<i>АмГУ, ИФФ, гр. 718-об</i>		
<i>Зав. каф.</i>		<i>Гужель Ю.А.</i>						

## ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день значительное влияние на мировую экономику оказывают разработка и производство полимерных материалов. Одним из таких материалов является полипропилен, синтез которого основан на применении, открытых К. Циглером и Дж. Наттом комплексных металлоорганических катализаторов.

Производство полипропилена стало одной из наиболее развитых отраслей промышленности в России. Полимер применяется практически во всех сферах деятельности человека, таких как медицина, автомобилестроение, строительство, электротехника и других отраслях.

В настоящее время полипропилен производится с использованием различных титан-магниевого каталитических систем, отличающихся друг от друга, прежде всего, комбинацией входящих в их состав электронодонорных соединений – внутренних и внешних доноров.

Изделия из полипропилена обладают высокой химической стойкостью, большой степенью кристалличности, прочностью, твердостью и теплостойкостью. Полипропилен имеет низкую водо- и газопроницаемость, является прекрасным диэлектриком, уникальным волокно- и пленкообразующим материалом.

Продукция из полипропилена используется в пищевой, строительной, нефтеперерабатывающей промышленности, в быту и др.

Цель работы – воспроизведение технологической схемы установки жидкофазной полимеризации, составление материального и теплового балансов узла полимеризации, а также расчет основного и вспомогательного оборудования.

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

1. Изучить технологию производства полипропилена.

					<b>ВКР.171920.180301.ПЗ</b>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
Разраб.		Шпак Е.Д.			<i>Расчёт установки полипропилена</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
Провер.		Лескова С.А.					7	64
Н. контр.		Родина Т.А.				<i>АмГУ, ИФФ, гр. 718-об</i>		
Зав. каф.		Гужель Ю.А.						

2. Воспроизвести технологическую схему установки и ее описание.
3. Составить материальный и тепловой баланс узла полимеризации.
4. Выполнить расчеты основного и вспомогательного оборудования.

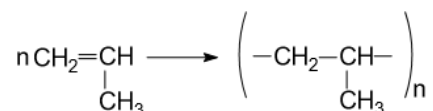
					<i>ВКР.171920.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		8



# 1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

## 1.1 Свойства полипропилена

Полипропилен – представляет собой синтетический термопластичный неполярный полимер, принадлежащий к классу полиолефинов [1]:



Пропилен – это бесцветный газ со слабым характерным для олефинов запахом. Температура его кипения составляет 47,7 °С, а температура плавления – 185,2 °С [1].

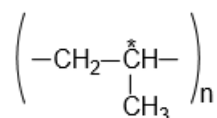
Полимеризация пропилена самопроизвольно не происходит, поэтому его длительное хранение можно производить без ингибиторов. Он, в отличие от этилена, практически не полимеризуется по свободнорадикальному механизму.

Пропилен, используемый в качестве мономера в реакциях полимеризации, не должен содержать примесей, которые способны вызывать отравление катализатора (например CO, CO<sub>2</sub>, COS, H<sub>2</sub>S, H<sub>2</sub>O, меркаптаны и другие сернистые соединения, ацетилен и его производные). Для получения пропилена высокой степени чистоты, его подвергают дополнительной очистке от указанных нежелательных примесей [2].

Наличие в пропилене насыщенных углеводородов C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> и C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> не влияет на процесс образования полимера.

Полипропилен, получаемый при полимеризации пропилена, имеет асимметрично расположенный атом углерода (отмечен \*) [1]:

					<b>ВКР.171920.180301.ПЗ</b>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		Шпак Е.Д.			<i>Расчёт установки полипропилена</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Провер.</i>		Лескова С.А.					9	64
<i>Н. контр.</i>		Родина Т.А.				<i>АмГУ, ИФФ, гр. 718-об</i>		
<i>Зав. каф.</i>		Гужель Ю.А.						



Свойства полипропилена представлены в таблице 1 [3].

Таблица 1 – Свойства полипропилена

Свойство	Значение
Молекулярная масса	80000-700000
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	900-910
Температура плавления, °С	169-170
Температура хрупкости, °С	(-10)-(+20)
Относительное удлинение при разрыве, %	200-800
Разрушающее напряжение при растяжении, МПа	25-40

Для ПП стереорегулярность метильной группы является важной характеристикой, влияющей на его плотность, температуру плавления, вязкость, степень его кристалличности [4].

Полипропилен имеет три способа расположения метильных групп:

1) При беспорядочном расположении заместителей по обе стороны плоскости, полипропилен называют атактическим [2]. Схема атактического полипропилена представлена на рисунке 1.

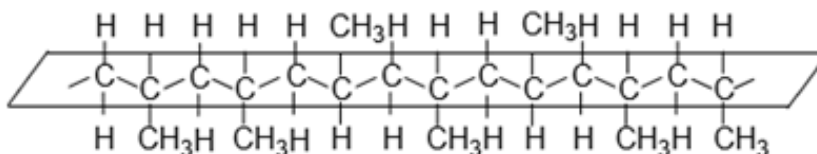


Рисунок 1 – Схема атактического полипропилена

Данный вид полипропилена относится по своим характеристикам к термопластам. АПП представляет собой мягкий, пластичный материал, который по своим свойствам похож на каучук. Атактический полипропилен может принимать различные формы: от жидкой маслоподобной до наиболее густой воскообразной. В производстве, в большинстве случаев, его утилизируют, поскольку не находят сферы применения для него. Также его подвергают химическим модификациям, что приводит к увеличению

полезных свойств. Самый простой, быстрый и дешевый способ повысить данные свойства – окисление. Вследствие чего увеличивается плотность полипропилена, что упрощает его использование в разных химических превращениях. Так же свое распространение АПП получил при использовании его в качестве полуфункциональной добавки [5].

2) Если заместители расположены по одну сторону плоскости главной цепи, то такие полимеры называются изотактическими [2]. Схема изотактического полипропилена представлена на рисунке 2.

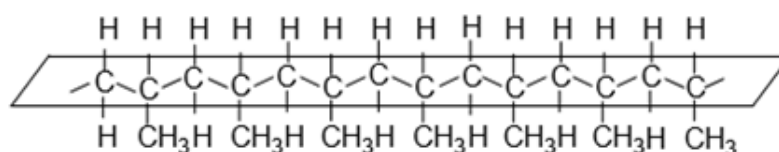


Рисунок 2 – Схема изотактического полипропилена

Изотактический полипропилен (гомополимер) – представляет собой продукт полимеризации пропилена с массовой долей изотактики не менее 98 %. ИПП является главной стерической разновидностью полипропилена. Он обладает большой степенью кристалличности, высокой прочностью, твердостью и теплостойкостью, является наиболее стойким к высоким и низким температурам, инертен, устойчив к свету, воздействию влаги и кислорода [3].

3) При регулярном чередовании заместителей по обе стороны плоскости, полипропилен называют синдиотактическим [2]. Схема синдиотактического полипропилена представлена на рисунке 3.

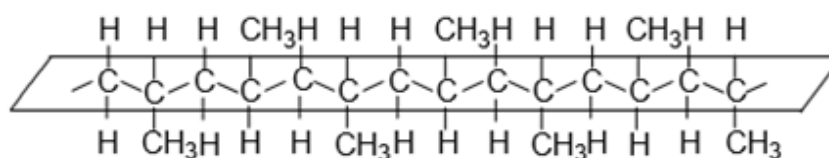


Рисунок 3 – Схема синдиотактического полипропилена

СПП является другой стереорегулярной формой полипропилена. Такая

форма ПП обеспечивает образование полимеров с высокой степенью кристалличности. Данный полипропилен обладает улучшенными свойствами, такими как более высокая плотность, температура плавления, вязкость, степень кристалличности [3].

Сравнение свойств полипропилена разной структуры представлено в таблице 2.

Таблица 2 – Характеристики изомеров ПП

Стереои́зомеры полипропилена	Температура плавления, °С	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Степень кристалличности, %	Вязкость, сСт
Атактический	70-90	850	0	0,46
Изоатактический	165-175	900-920	68	2,10
Синдиотактический	114-170	850-900	27-64	0,50-1,20

В зависимости от типа и соотношения присутствующих стереоизомеров свойства полипропилена изменяются в широком диапазоне [2].

Механические свойства ПП определяются его структурным составом. Полипропилен, получаемый на производстве, состоит в основном из макромолекул изотактического строения, чем и обусловлены его высокие механические характеристики [6].

Изделия из ПП обладают высокой износостойкостью. При увеличении молекулярного веса, происходит повышение стойкости к истиранию полимера [7].

Как и большинство синтетических полимеров, полипропилен является прекрасным диэлектриком. Благодаря достаточно малому водопоглощению его электроизоляционные свойства практически не изменяются даже после длительной выдержки в воде [1].

ПП нейтрален по отношению ко многим химическим веществам. Изделия из полипропилена способны устойчиво переносить воздействие растворов кислоты, щелочи, солей и многих других неорганических соединений. Исключением является взаимодействие с некоторыми растворителями. Так, при взаимодействии полипропилена с бензолом, происходит набухание и

растворение эфира. Однако, при полном удалении растворителя, наблюдается восстановление первоначальной структуры и свойств полипропилена [7].

Полипропилен более склонен к старению в сравнении с полиэтиленом. Старение происходит быстрее, что приводит к резкому ухудшению механических свойств. Вследствие чего данный полимер применяется только в стабилизированном виде. Стабилизирующие вещества применяются для предотвращения разрушения полимера во время переработки и в применении. Полипропилен, в отличие от полиэтилена, в меньшей мере подвергается растрескиванию, происходящему в результате влияния агрессивных сред. Он может выдерживать стандартные тесты на растрескивание под напряжением, которые проводят в различных средах [8].

Полипропилен обладает высокой химической устойчивостью. Существенное воздействие на него способны оказать лишь сильные окислители, такие как азотная дымящая кислота, хлорсульфоновая кислота, олеум и галогены.

Разнообразные свойства полипропилена (гомополимера) дополняются сополимерами пропилена с этиленом (эластичность, морозостойкость, ударопрочность и др.). Статсополимер (включает пропилен + от 2 % до 7 % этилена) служит для улучшения характеристик гомополимеров: способствует упорядоченности при низких температурах, гибкости/жесткости, прозрачности/мутности. Блок-сополимер (включает пропилен + 20 % этилена) является более стабильным и эластичным, более устойчив к долгосрочным температурным воздействиям, стабилен к агрессивным химическим веществам и растворителям [3].

## 1.2 Механизм реакции полимеризации пропилена

Полимеризация – процесс образования высокомолекулярного вещества (полимера) путем многократного присоединения молекул низкомолекулярного вещества (мономера) к активным центрам в растущей молекуле полимера.

Полимеризация является цепной реакцией. Цепная реакция – реакция, в

					<b>ВКР.171920.180301.ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		13

которой реакционноспособные радикалы постоянно регенерируются, путем присоединения повторяющегося цикла элементарных стадий. В цепной полимеризации рост цепи происходит только в результате реакции мономера с активным центром на конце растущей цепи [9].

Механизм любой цепной реакции включает три основные стадии: инициирование, рост цепи, обрыв цепи.

Образование первичных активных центров в реакционной системе чаще всего проводится с помощью специально вводимых добавок инициаторов или катализаторов полимеризации [10].

Инициирование – стадия, на которой происходит образования первичного свободного радикала или иона:



где  $R^*$  – активная частица;

$IX$  – молекула вещества;

$M$  – молекула мономера;

$RM^*$  – активный центр.

Инициаторами могут быть соединения, имеющие в молекуле лабильные связи O-O, N-N, C-N и другие, при гомолитическом разрыве которых возникают радикалы.

Рост цепи – стадия, на которой происходит последовательное присоединение молекул мономера к радикалу или иону, при условии сохранения свободной валентности в концевом звене:



где  $RM^*$  – активный центр;

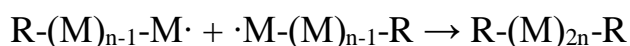
$M$  – молекула мономера;

$RMM^*$  – активный центр.

Стадия роста цепи сопровождается достаточно малой энергией активации. Скорость данной реакции считается высокой, тепловой эффект – положительный.

					<i>ВКР.171920.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		14

Обрыв цепи – стадия, на которой исчезает свободная валентность, вследствие насыщения растущего макрорадикала или макроиона:

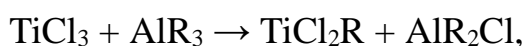
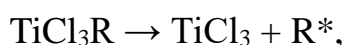
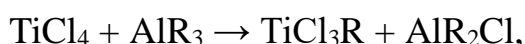


Реакция обрыва цепи также характеризуется небольшой энергией активации и протекает с достаточно высокой скоростью [11].

### 1.2.1 Механизм полимеризации на катализаторах Циглера-Натта

Образование катализатора Циглера-Натта происходит в результате смешения компонентов катализатора. На поверхности кристаллов  $TiCl_3$  ( $TiCl_4$ ) образуется нерастворимый координационный комплекс, в котором  $TiCl_4$  ( $TiCl_3$ ) является донором, а  $AlR_3$  – акцептором электронов.

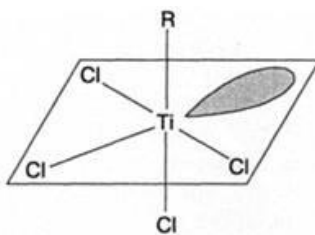
Образование данного комплекса сопровождается множеством реакций, важнейшей из которых является реакция алкилирования переходного металла, поскольку в дальнейшем присоединение мономера в реакции роста происходит по связи  $Ti-C$ :



где  $R^*$  – молекула мономера.

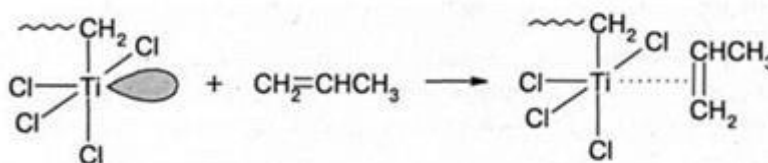
В ходе восстановления четыреххлористого титана до треххлористого образуются радикалы, что объясняет известные факты инициирования радикальной полимеризации некоторых мономеров катализаторами Циглера-Натта [3].

Согласно модели, активные центры, включающие связь  $Ti-C$ , локализованы на поверхности одной из кристаллических модификаций  $TiCl_3$ . Атом титана активного центра имеет пять лигандов и одну вакантную орбиталь. Четыре лиганда – атомы хлора – он делит с соседними атомами титана кристаллической решетки, пятым является углеводородный радикал или растущая полимерная цепь. В целом, ориентация лигандов и вакантной орбитали атома титана активного центра соответствует октаэдру:

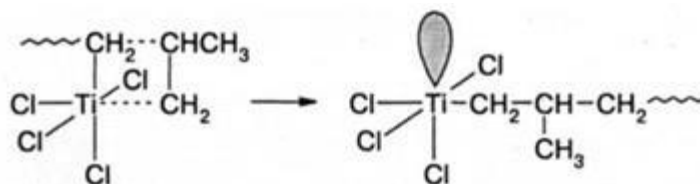


Реакции инициирования и роста в полимеризации на катализаторах Циглера-Натта практически не отличаются, поскольку во всех случаях имеет место внедрение мономера по связи Ti-C. Выделяют три стадии этой реакции.

На первой стадии происходит присоединение мономера к свободной орбитали:

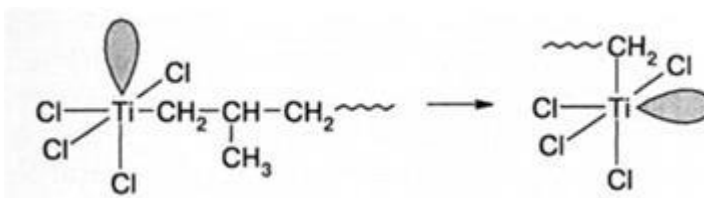


На второй стадии происходит внедрение мономера по связи титан-углерод. Одновременно происходит регенерация вакантной орбитали и изменение ее пространственного расположения:



Присоединение пропилена на катализаторах Циглера-Натта происходит всегда в одном и том же пространственном расположении, вследствие чего образуется изотактическая структура цепи.

На третий стадии процесса происходит восстановление исходного положения вакантной орбитали [12] :



### 1.2.2 Катализаторы процесса

Катализаторы полимеризации – вещества, которые способны возбудить



полимеризацию. Ранее считалось, что катализатором полимеризации могло стать любое вещество, которое способствовало бы протеканию полимеризации. С течением времени стало известно, что некоторые вещества способны входить в состав образующегося полимера. Такие вещества получили название инициаторы [13].

Основная роль катализатора полимеризации – создание активных центров, на которых будет происходить рост макромолекулы. Природа определенного катализатора определяет механизм процесса, кинетические характеристики элементарных актов, молярную массу и пространственную структуру образующегося полимера. Большую роль в формировании активных центров играют микропримеси воды, спиртов и других доноров протона [14].

Большинство катализаторных систем для производства ПП, которые используются в настоящее время в промышленности, основываются на технологии, разработанной и внедренной в восьмидесятые годы.

По природе активных центров различают четыре типа катализаторов:

- ионные;
- металлоорганические;
- металлокомплексные;
- оксиднометаллические.

К ионным катализаторам относятся протонные ( $H_2SO_4$ ) и апротонные соединения ( $AlCl_3$ ,  $BF_3$  и др.), соли карбония ( $Ph_3C^+$ ), оксония ( $R_3O^+$ ) и др. Все эти катализаторы являются акцепторами электронов и электронных пар [15].

Органические производные металлов IV-VIII гр. представляют собой металлоорганические катализаторы полимеризации, которые используют для полимеризации диенов, ацетиленов, циклоолефинов. Активные центры полимеризации диенов –  $\pi$ -аллильные комплексы металлов, строение которых определяет микроструктуру образующегося полимера. Например, при использовании в качестве каталитической системы бис-гексафторацетилацетоновые комплексы металлов IV группы

					<b>ВКР.171920.180301.ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		17

(магнийорганические соединения  $MgR_2$  или  $MgRX$  и триалкилалюминий) происходит образование гомогенной трехкомпонентной каталитической системы, проявляющей большую каталитическую активность и способную приводить к образованию как высокоизотактичного ПП, так и стереоблочного ПП [16].

При взаимодействии соединений переходных металлов IV-VIII гр. с органическими производными металлов I-III гр. получают металлокомплексные катализаторы. Широкое распространение в производстве нашли каталитические системы, которые закреплены на неорганических и органических носителях. Наиболее перспективны для полимеризации олефинов катализаторы Циглера-Натта, которые получают закреплением галогенидов Ti и V на поверхности носителей, содержащих Mg (например,  $MgO$ ,  $MgCl_2$ , полиэтилен с привитыми фрагментами  $MgR_2$  и  $MgCl_2$ ) [17].

В состав оксиднометаллических катализаторов полимеризации обычно входят оксиды Cr, Co и Mo. Так же используются металлоорганические катализаторы, для полимеризации олефинов и диенов. Например для полимеризации этилена при температуре от 130 °C до 160 °C и давлении 4 МПа, применяют оксиднохромовый катализатор с содержанием Cr на носителе (обычно алюмосиликате) около 25 % по массе. Стереоспецифичность этих катализаторов значительно ниже, чем у металлокомплексных [15].

Новые современные катализаторы способны увеличить ценность полипропилена благодаря производству полиолефинов с более широкими характеристиками.

Фталатные катализаторы четвертого поколения с высокими рабочими характеристиками являются многоцелевыми катализаторами. Частицы данного катализатора сферичные и однородные, они производят однородные частицы полимера. Полипропилен, при использовании фталатного катализатора, обладает очень узким распределением размеров частиц.

					<b>ВКР.171920.180301.ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		18



взаимодействуют с носителем, влияя на распределение активного компонента  $TiCl_4$  на поверхности носителя ( $MgCl_2$ ), уменьшая тем самым количество нестереорегулярных поверхностных центров носителя.

Таким образом, при взаимодействии нокомпонент, который используется в производстве.

Четыреххлористый титан ( $TiCl_4$ ) имеет и селективные центры, для последующей полимеризации, и неселективные. Для блокировки неселективных центров  $TiCl_4$  используются внешние доноры. Внешние доноры – это амины, амиды, простые эфиры, сложные эфиры, кетоны, альдегиды, соли органических кислот и др. Эти доноры вводятся непосредственно перед процессом полимеризации. Они блокируют активные центры  $TiCl_4$ , которые дают неизотактичный полипропилен. Также в твердую каталитическую основу вводится сокатализатор  $Al(C_2H_5)_3$ , с помощью которого и образуется каталитический комплекс.

### 1.3 Технологии производства

Полимеризация пропилена проводится по трем основным технологиям:

- технология полимеризации в суспензии;
- технология полимеризации в растворе;
- технология полимеризации в массе (жидкофазная или газофазная).

Исходным веществом для получения порошка полипропилена является пропилен высшего сорта объемной концентрацией не ниже 98 %.

Наиболее широко применяется суспензионный процесс полимеризации. Процесс протекает при температуре от 65 °С до 70 °С и давлении от 3,5 до 4,0 МПа. На первом этапе происходит смешение катализатора, сокатализатора и углеводородного растворителя (например, изобутан, пентан, гексан). Перемешивание осуществляется от двух часов до нескольких дней, поэтому катализатор должен обладать высокой стабильностью и иметь стойкость к истиранию. Далее суспензию катализатора, растворитель, водород и среду-

					<b>ВКР.171920.180301.ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		20

носитель – пропилен, непрерывно подают в реактор. Полипропилен из реактора удаляют. Избыток мономера испаряют из суспензии полимера и возвращают в цикл. Обеззоливание осуществляют, обрабатывая полимер такими реагентами, как  $C_2H_5OH$ ,  $HCl$ ,  $H_2O$  и  $NaOH$ . При необходимости из полимера удаляют атактический полипропилен. После отделения от растворителя и сушки полученный порошок таблетуют, нарезают экструдированные стержни. Перед экструзией к полимеру добавляют антиоксидант и стабилизатор, которые способны ослабить действие ультрафиолетового излучения на полимер [20].

Главной особенностью полимеризации в растворе является ее проведение при температурах от  $50\text{ }^{\circ}C$  до  $80\text{ }^{\circ}C$  и давлении от 0,6 до 1,0 МПа. При данных параметрах происходит растворение мономера. Остаток катализатора удаляют фильтрацией горячего раствора полимера. При этом исключаются затраты, связанные со стадией обеззоливания, и получается очень чистый полипропилен. Полимер выделяют из раствора кристаллизацией и центрифугированием. Повышение температуры полимеризации на системах Циглера-Натта увеличивает выход обычно нежелательного атактического полипропилена. Поэтому до тех пор, пока не будут найдены области применения атактического полимера, процесс полимеризации в растворе экономически не может конкурировать с другими способами полимеризации [21].

При полимеризации в массе или жидком мономере жидкий пропилен является и растворителем, и реагентом. Процесс проводят при температуре от  $75\text{ }^{\circ}C$  до  $80\text{ }^{\circ}C$  и давлении от 3,2 до 4,5 МПа. В процессе все компоненты вводят в реактор с мешалкой, а полипропилен непрерывно удаляют. Большая часть тепла реакции отводится при кипении жидкого пропилена, который конденсируют. Из полимера избыток пропилена испаряют, конденсируют и возвращают в реактор. Однако такая рециркуляция вызывает осложнения, связанные с возможностью образования продуктов олигомеризации и

					<b>ВКР.171920.180301.ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		21

появлением примесей в пропилене, если не предусмотрена последующая стадия очистки. Для удаления остатков катализатора и атактического полипропилена полимер обрабатывают спиртами и экстрагируют растворителями.

Новейшей конструкцией реактора полимеризации пропилена является реактор с кипящим слоем, в котором катализатор взвешен в потоке газообразного пропилена. Кипящий слой можно освободить от газовых пузырей механическими средствами. Растворитель не применяют, но катализатор вводят в виде суспензии в углеводороде. Нередко катализатор наносят на инертный носитель – полипропилен. Экономические преимущества этого способа полимеризации связаны с отказом от растворителя и непрерывным производством полимера, не требующего центрифуг и другого оборудования для выделения из раствора. Для возвращения пропилена в цикл дистилляция не нужна. Выделяющееся тепло отводится за счет испарения пропилена, который подают в виде жидкости, однако имеются трудности, обусловленные регулированием температуры и слипанием частиц катализатора [14].

## **1.4 Аппаратурное оформление процесса**

### **1.4.1 Реакторы полимеризации**

Для производства полипропилена применяют петлевые реакторы и аппараты с мешалкой. Полимеризацию проводят как в одном, так и в нескольких реакторах.

Схема петлевого реактора представлена на рисунке 4 [13].

Полимеризации пропилена последовательно в реакторах полимеризации. Реактор полимеризации представляет собой замкнутый контур из вертикально расположенных труб.

Катализаторный комплекс и пропилен поступает в реактор через патрубок 7. В первом петлевом реакторе 1 происходит непрерывная рециркуляция суспензии полимера при помощи осевого насоса 3,

					<b>ВКР.171920.180301.ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		22









представлена на рисунке 8 [24].

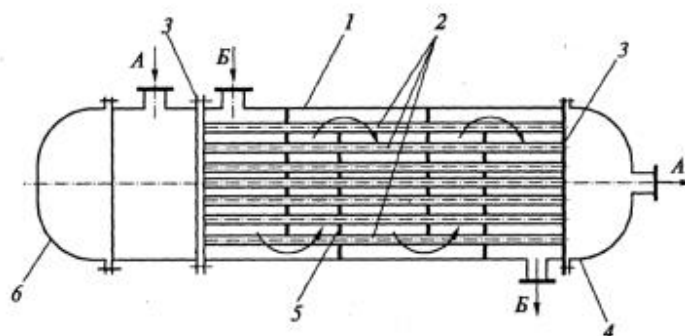


Рисунок 7 – Схема кожухотрубчатого теплообменного аппарата

- 1 – кожух; 2 – теплообменные трубы; 3 – трубная решетка;  
4, 6 – распределительные камеры; 5 – перегородки

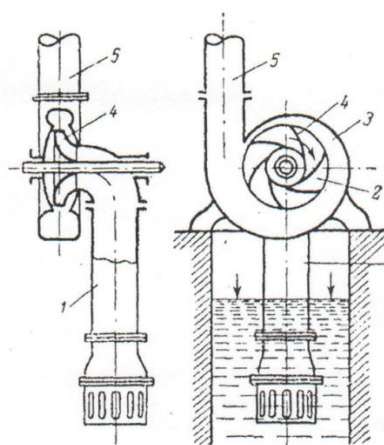


Рисунок 8 – Схема одноступенчатого центробежного насоса

- 1 – всасывающий трубопровод; 2 – рабочее колесо; 3 – корпус;  
4 – лопатки; 5 – нагнетательный трубопровод

В одноступенчатом центробежном насосе жидкость из всасывающего трубопровода 1 поступает вдоль оси рабочего колеса 2 в корпус 3 насоса и, попадая на лопатки 4, приобретает вращательное движение. Центробежная сила отбрасывает жидкость в канал переменного сечения между корпусом и рабочим колесом, в котором скорость жидкости уменьшается до значения равного скорости в нагнетательном трубопроводе 5. При этом происходит

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ВКР.171920.180301.ПЗ

Лист

26

преобразование кинетической энергии потоков жидкости в статический напор, что обеспечивает повышение давления. На входе в колесо создается давление и жидкость из приемной емкости непрерывно поступает в насос.

Принципиальная схема осевого насоса представлена на рисунке 9 [25].

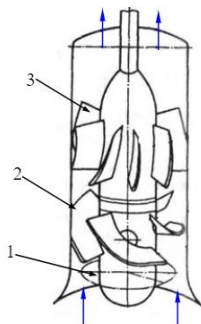


Рисунок 9 – Схема осевого насоса

1 – вал; 2 – лопасти; 3 – направляющий аппарат

Рабочее колесо насоса, по форме близкое к винту, расположено в корпусе. Жидкость захватывается в осевом направлении, одновременно участвуя во вращательном движении. За насосом установлен направляющий аппарат для преобразования вращательного движения жидкости в поступательное [26].

#### 1.4.4 Циклон

Принципиальная схема циклона представлена на рисунке 10 [27].

Запыленный газ вводится в корпус через входной штуцер тангенциально. Частицы пыли под действием центробежной силы отбрасываются к стенкам цилиндрического корпуса 1. В аппарате создаются два спиральных потока: внешний поток запыленного газа, который движется сверху вниз вдоль поверхности стенок циклона, и внутренний поток очищенного газа, который поднимается снизу вверх, располагаясь вблизи оси аппарата, и удаляется из него. Твердые частицы концентрируются вблизи стенок и переносятся потоком в разгрузочный бункер 3.

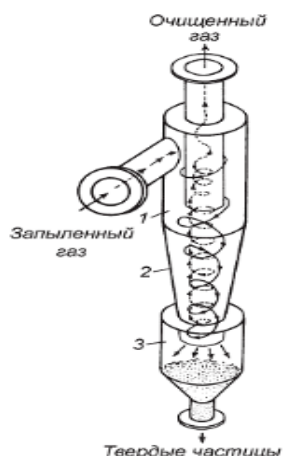


Рисунок 10 – Схема циклона

- 1 – цилиндрический корпус; 2 – коническое днище;  
3 – разгрузочный бункер

#### 1.4.5 Фильтр

Принципиальная схема циклона представлена на рисунке 11 [24].

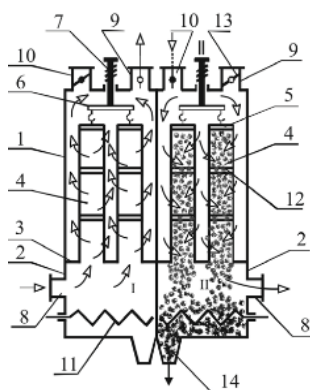


Рисунок 11 – Рукавный фильтр

- 1 – корпус; 2 – бункер для пыли; 3 – трубная решетка; 4 – рукава; 5 – крышка рукавов; 6 – рама для подвески; 7 – опорная рама; 8 – патрубок для входа газа;  
9 – патрубок для выхода очищенного газа; 10 – продувочный патрубок;  
11 – шнек; 12 – металлические кольца; 13 – дроссельные клапаны;  
I, II – секции аппарата

В секцию I, работающую на стадии фильтрования, через патрубок 8 поступает запыленный газ и далее поступает в рукава 4. Сверху они закрыты

крышками 5 и подвешены на раме 6. Чтобы рукава сохраняли цилиндрическую форму, в них вшиваются металлические кольца 12. Проходя через рукава газ очищается от пыли, которая оседает в порах фильтровальной ткани, а очищенный газ выходит через патрубок 9. При встряхивании рукавов пыль попадает в днище корпуса откуда удаляется шнеком 11. Секция II работает на стадии отчистки рукавов от пыли.

### **1.5 Применение полипропилена**

Обладая ценным сочетанием свойств и, относительно низкой стоимостью, полипропилен исключительно быстро проник во многие отрасли промышленности.

ПП широко применяется как тара и упаковка. Благодаря высокой прочности и прозрачности, сополимеры пропилена используются в виде пленок, бутылок и контейнеров [28].

Большое количество изотактического полипропилена расходуется на производство волокна. Характерной особенностью полипропиленового волокна является его невысокая, по сравнению с другими видами синтетических волокон плотность (0,905). Малая плотность полипропиленового моноволокна сочетается с исключительной прочностью и высокими эластическими свойствами.

Полипропилен также применяют в качестве плакировки резервуаров для хранения химически агрессивных сред и товаров. Кроме того, из полипропилена изготавливают корпуса насосов, работающих в агрессивных средах, шестерни, колпаки, трубопроводы и арматуру.

Полипропилен применяют в машиностроении, вследствие низкого коэффициента трения и высокой износостойкости.

Из ПП изготавливают детали текстильного оборудования, вентиляторов, пылесосов, полотеров, холодильников, колпаки и винты машин для стрижки газонов и т.д.

В электротехнической промышленности находят применение

					<b>ВКР.171920.180301.ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		29

формованные детали из полипропилена (например, катушки, обоймы, футляры, ламповые патроны, подставки, детали выключателей и телефонных аппаратов, корпуса радиоприемников, репродукторов, телевизоров и т.п.), а также изоляционные оболочки и пленка, главным образом в виде ленты. Этому способствуют высокая электрическая прочность тонких пленок, теплостойкость и способность к намотке.

Долговременная устойчивость при температурах выше 100 °С позволяет использовать полипропилен для изготовления корпусов ингаляторов, которые не подвержены коррозии под действием минеральных вод, применяемых для ингаляции, а также специальных трубок и шлангов [29].

					<i>ВКР.171920.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		30

## 2 ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

### 2.1 Характеристики сырья

В таблице 4 представлены характеристики сырья на установке производства полипропилена.

Таблица 4 – Характеристики сырья

Наименование сырья, материалов, полупродуктов и энергоресурсов	Показатели, обязательные для проверки	Регламентируемые значения
1	2	3
<b>I Сырье</b>		
Пропилен	Пропилен (% об.), не менее	99,5
	Водород (% об.), не более	0,002
	Пропан (% об.), не более	0,5
	Метан + этан (% об.), не более	0,01
	Общее количество углеводородов C <sub>4</sub> (% об.), не более	0,002
	Вода (% об.), не более	0,001
	Давление, МПа	2,60-2,98
	Температура, °С	35-50
Этилен	Содержание ацетилена (% об.), не более	0,0001
	Содержание кислорода (% об.), не более	0,00001
	Содержание воды (% об.), не более	0,00001
	Содержание двуокиси углерода (% об.), не более	0,00001
	Давление, МПа	5,00-5,14
	Температура, °С	32-35
Водород	Водород (% об.), не менее	99,99
	CH <sub>4</sub> (% об.), не более	0,01
	N <sub>2</sub> + Ar (% об.), не более	0,01
	C <sub>2</sub> и выше HCS (% об.), не более	0,002
	CO и CO <sub>2</sub> (% об.), не более	0,00002
	Сера (% масс.), не более	0,0001
	Давление, МПа	5,5-6,07
	Температура, °С	10-50
<b>II Катализаторы и доноры</b>		
Катализатор ZN 101	Внешний вид	Порошок от желтого до серого цвета

					<b>ВКР.171920.180301.ПЗ</b>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
Разраб.	Шпак Е.Д.				<i>Расчёт установки полипропилена</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
Провер.	Лескова С.А.						31	64
Н. контр.	Родина Т.А.					<i>АмГУ, ИФФ, гр. 718-об</i>		
Зав. каф.	Гужель Ю.А.							

Продолжение таблицы 4

1	2	3
	Активность катализатора (кг полипропилена / г катализатора), не менее	34
Триэтилалюминий (ТЭАЛ) Сокатализатор	Внешний вид	Прозрачная бесцветная жидкость
	Триэтилалюминий (% масс.), более	94
	Алюминий (% масс.), более	22,5
Донор (Donor C)	Внешний вид	Прозрачная бесцветная жидкость
	Содержание основного вещества (%), не менее	99,5
	Хлориды (%), не более	0,0005
	Метанол (%), не более	0,04
	Вода (%), не более	0,01
<b>III Добавки и реагенты</b>		
Жидкая добавка (Atmer 163)	Внешний вид	Бледно-желтая жидкость
	Содержание первичных и вторичных аминов (% масс.), не более	2,0
	Содержание воды (% масс.), не более	0,5
	Содержание третичных аминов (% масс.), не более	98
	Цветность (HAZEN) (ед.), не более	50
	Эквивалент нейтрализации (в пределах)	293-307
Тальк (магний силикат гидрат)	Внешний вид	Белый мелкий порошок
	Насыпная плотность (г/мл, в пределах)	0,28-0,34
	Потеря массы (%), менее	0,2
Стеарат цинка	Внешний вид	Однородный порошок белого цвета
	Содержание оксида цинка (%), не менее	13,8
	Массовая доля воды (%), не более	0,5
	Температура плавления (°С), не более	121
Trigonox 301 (жидкий пероксид)	Внешний вид	Бесцветная жидкость
	Содержание активного кислорода (%)	7,3-7,6
	Содержание перекисей (%)	41
<b>IV Вспомогательные материалы</b>		
Смазка (Вазелиновое масло)	Температура каплепадения (°С, в пределах)	60-64
	Пенетрация (мм/10, в пределах)	160-180
	Свободная влага	отсутствует
Минеральное масло ShellOndinaOil 933	Плотность (при 15 °С) (кг/м <sup>3</sup> , в пределах)	873-893
	Цветность (SAYBOLT) (ед., более)	плюс 30
	Показатель преломления (при 15 °С) (в пределах)	1,476-1,482
	Вязкость (при 40 °С) (мм <sup>2</sup> /с, в пределах)	63-75

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

ВКР.171920.180301.ПЗ

Лист

32



1	2	3
	Показатель преломления (при 15 °С) (в пределах)	1,476-1,482
	Вязкость (при 40 °С) (мм <sup>2</sup> /с, в пределах)	63-75

## 2.2 Характеристики готовой продукции

Готовым продуктом установки гранулирования полипропилена является стабилизированный неокрашенный полипропилен (гомополимер пропилена или сополимер пропилена с этиленом), выпускаемый в виде гранул диаметром от 3 до 4 мм. Фактическая плотность полипропилена от 890 до 910 кг/м<sup>3</sup>. Насыпная плотность от 450 до 650 кг/м<sup>3</sup>. Свойства гранулированного полипропилена должны соответствовать требованиям ГОСТ 26996-86 Полипропилен и сополимеры пропилена [30].

Полипропилен химически стойкий материал, обладает большой степенью кристалличности, высокой прочностью, твердостью и теплостойкостью. Полипропилен имеет низкую водо- и газопроницаемость, является прекрасным диэлектриком, уникальным волокно- и пленкообразующим материалом. Заметное воздействие на него оказывают только сильные окислители. В органических растворителях при комнатной температуре полипропилен незначительно набухает, при температуре выше 100 °С он растворяется в ароматических углеводородах.

Вследствие наличия третичных углеродных атомов полипропилен чувствителен к действию кислорода, света, особенно при повышенных температурах. Этим объясняется значительно большая склонность полипропилена к термоокислительной деструкции по сравнению с полиэтиленом. Старение полипропилена сопровождается резким ухудшением его физико-механических свойств. Поэтому полипропилен применяется только в стабилизированном виде. Стабилизаторы предохраняют его от деструкции (старения) в процессе переработки и эксплуатации.

Показатели качества гомополимера, статсополимера и блок-сополимера

					<b>ВКР.171920.180301.ПЗ</b>	<i>Лист</i>
						33
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		



Продолжение таблицы 6

Марка продукта	Нормативное значение для марки продукта				
	PP R003 EX/4	PP R122 IM/4	PP R252 IM/4	PP R482 IM/4	PP R752 IM/4
Ударная вязкость по Изоду с надрезом при плюс 23 °С (Дж/м), не менее	-	85	-	85	43
Мутность на пластине толщиной 1 мм (%), не более	-	9	9	10	11
Стойкость к термоокислительному старению при 140 °С (час), не менее	1800	360	360	360	360

Таблица 7 – Показатели качества блок-сополимера

Марка продукта	Нормативное значение для марка продукта			
	PP I003 EX/4	PP I013 EX/4	PP I042 TF/4	PP I212 IM/4
Показатель текучести расплава (230 °С/2,16 кг) (г/мин), в пределах	0,2-0,4	1,1-1,5	3,5-4,5	18-24
Модуль упругости при изгибе (МПа), не менее	-	1450	-	1500
	1450	-	1100	-
Предел текучести при растяжении (МПа), не менее	-	27	-	27
	29	27	20	27
Относительное удлинение при пределе текучести (%), не менее	-	7	-	7

### 2.3 Описание технологического процесса

Производство полипропилена предназначено для получения полипропилена (гомополимер, рандомсополимер, блоксополимер, терполимер – тройной бутенсодержащий сополимер) по технологии Spheripol компании LyondellBasell.

Технологический процесс производства осуществляется на одной реакторной линии, состоящей из двух последовательно работающих петлевых реакторов. Также в состав процесса входят две параллельные линии экструзии, включающие в себя следующие стадии:

- доочистка пропилена и система очистки и осушки азота;
- хранение и дозирования катализатора, сокатализатора, донора и жидких добавок;
- предварительная полимеризация (преполимеризация) и жидкофазная полимеризация пропилена;
- дегазация полимера с рециклом пропилена;
- сополимеризация в газовой фазе (при получении гетерофазных блок-сополимеров);
- отпарка и сушка полимера с рециклом мономера;
- внесение добавок и экструзия полипропилена;
- гомогенизация.

Технологическая схема установки производства полипропилена представлена на рисунке 12.

Пропилен при давлении от 2,6 до 3,3 МПа поступает в емкость рециклового пропилена Е-2.

Каталитический комплекс состоит из трех основных компонентов:

- катализаторная паста (суспензия);
- сокатализатор (ТЭАЛ) (жидкий);
- донор (жидкий).

Катализаторная паста представляет собой смесь катализатора (титановый катализатор, нанесенный на  $MgCl_2$ ), парафинового масла и смазки.

Триэтилалюминий, донор и катализаторная паста поступают в емкость предварительного смешения катализатора Е-1. Где при давлении от 3,4 до 4,5 МПа и температуре 10 °С происходит образование каталитического комплекса. Емкость оборудована мешалкой, для непрерывного перемешивания суспензии, и рубашкой охлаждения, для поддержания постоянной температуры. Донор и ТЭАЛ соединяются в общую линию перед подачей в емкость Е-1, предварительно охлаждаясь в холодильнике Хн-1 низкотемпературным хладагентом.

					<b>ВКР.171920.180301.ПЗ</b>	<i>Лист</i>
						36
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

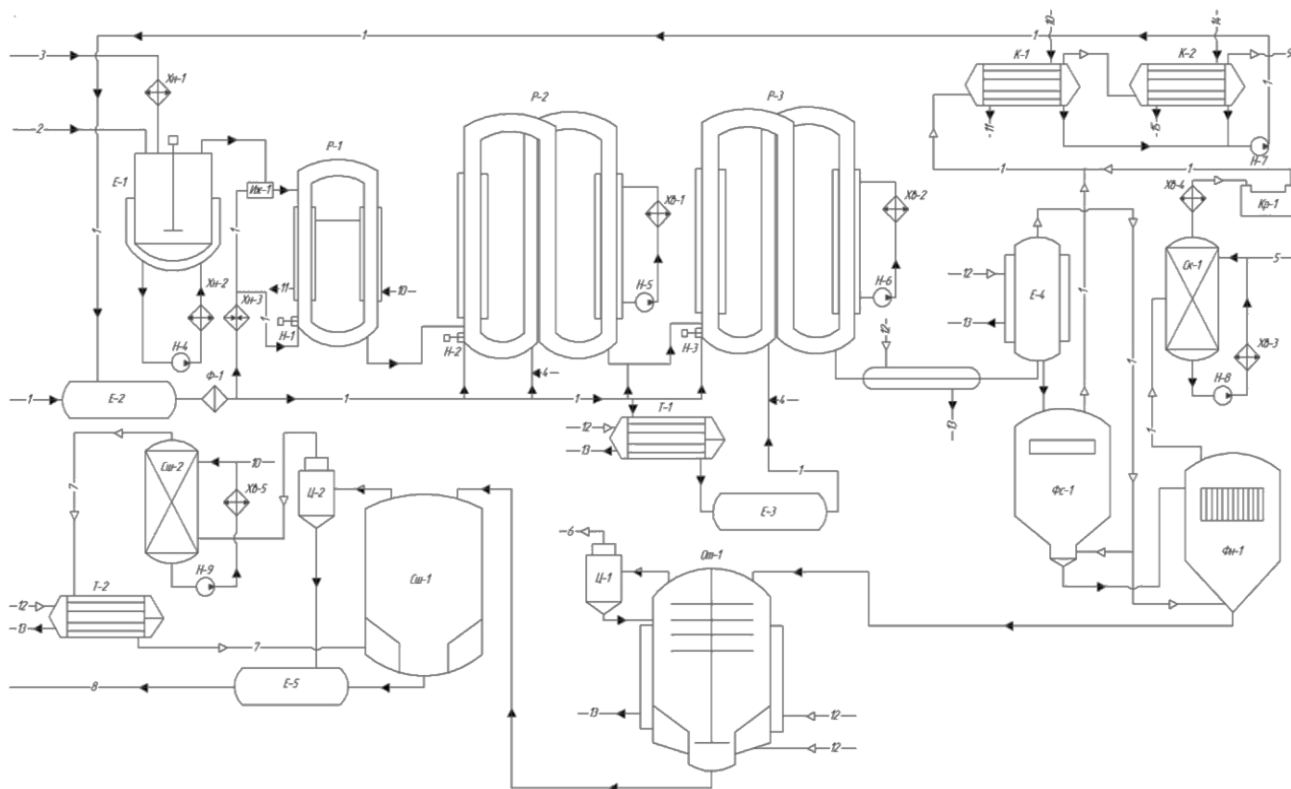


Рисунок 12 – Технологическая схема производства полипропилена

Е-2 – емкость рециклового пропилена; Ф-1 – фильтр пропилена;

Е-1 – смеситель; Иж-1 – ижектор; Р-1 – реактор преполимеризации;

Р-2, 3 – петлевые реакторы; Е-3 – расширительный сосуд;

К-1, 2 – конденсаторы; Фс-1 – фильтр среднего давления;

Фн-1 – фильтр низкого давления; Ск-1 – скруббер; Кр-1 – компрессор;

От-1 – отпаривающая колонна; Ц-1, 2 – циклоны; Сш-1, 2 – сушилки;

Е-5 – емкость полипропилена; Н-1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 – насосы;

Т-1, 2 – теплообменники; Хв-1, 2, 3, 4, 5 – холодильники, работающие на воде;

Хн-1, 2, 3 – холодильники работающие на НЗХ.

1 – пропилен; 2 – катализаторная паста; 3 – донор, ТЭАЛ; 4 – водород;

5 – промывочная смесь; 6 – газ на конденсацию и факел; 7 – азот;

8 – полипропилен на экструзию и грануляцию; 9 – газ в сток; 10 – вода

оборотная (подача); 11 – вода обратная (возврат); 12 – перегретый пар

(подача); 13 – перегретый пар (возврат); 14 – НЗХ (подача); 15 – НЗХ (возврат)

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

ВКР.171920.180301.ПЗ

Лист

37

Катализаторный комплекс на выходе из емкости смешения катализатора поступает в ижектор Иж-1, где смешивается с пропиленом, поступающим из емкости рециклового пропилена Е-2, в соотношении 1:2000.

Поток пропилена из Е-1 разделяется на два. Часть пропилена направляется к двум петлевым реакторам Р-2 и Р-3, предварительно фильтруясь в защитном фильтре Ф-1, а другая часть, проходя через охладитель Хн-3 двумя потоками подается к ижектору Иж1 и на промывку насоса Н-1. Холодильник Хн-3 представляет собой кожухотрубчатый теплообменник, в межтрубное пространство которого подается низкотемпературный хладагент.

Реакционная масса после ижектора Иж-1 поступает в реактор °Спреполимеризации Р-1, где при температуре 20 °С и давлении от 3,4 до 4,5 МПа происходит наращивание полимера на частицы катализатора. Время контакта в реакторе составляет от 10 до 15 мин. В качестве жидкости-носителя используется жидкий пропилен. Реактор оборудован своим осевым насосом Н-1 для обеспечения циркуляции суспензии. Скорость перемещения суспензии составляет от 3 до 4 м/с. В Р-1 происходит образование защитной оболочки вокруг частицы катализатора, которая защищает катализатор при попадании в петлевые реакторы Р-2 и Р-3. Без инкапсуляции, частицы полимера оказались бы недостаточно прочными, что привело бы к повышенному образованию мелкой фракции порошка ПП.

Реакционная масса из Р-1 поступает в два петлевых реактора Р-2 и Р-3, которые представляют собой замкнутый контур из вертикально расположенных труб. Подача жидкости-носителя (пропилена) осуществляется в каждый реактор отдельно. В Р-3 жидкий пропилен сначала проходит через испаритель Т-1 и емкость Е-3. Испаритель Т-1 представляет собой кожухотрубчатый теплообменник, в межтрубное пространство которого подается перегретый водяной пар. Время пребывания составляет 1 час при давлении от 3,4 до 4,5 МПа и температуре 80 °С. Каждый петлевой реактор

					<b>ВКР.171920.180301.ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		38

оснащен своим осевым насосом, который обеспечивает равномерное распределение температуры и давления по всему объему реактора.

Реакция полимеризации является экзотермической с выделением тепла, которое отводится посредством циркуляции воды в рубашках реакторов. Циркуляция воды обеспечивается насосами Хв-1 и Хв-2.

Пропилен в первый петлевой реактор подается тремя потоками:

- подача пропилена, который входит в состав каталитического комплекса из реактора преполимеризации Р-1;
- подача пропилена для предотвращения отложений полимера на поверхности уплотнения насоса Н-2;
- подача пропилена в первый петлевой реактор Р-2.

Пропилен во второй петлевой реактор также подается тремя потоками:

- подача пропилена для предотвращения отложений полимера на поверхности уплотнения насоса Н-3;
- подача пропилена в испаритель пропилена Т-1 для поддержания давления в системе реактора;
- подача потока пропилена, который смешивается с потоком, вышедшим из первого петлевого реактора.

Помимо каталитического комплекса и пропилена, в реактор подается водород, который используется как добавка, способная регулировать показатель вязкости расплава полимера.

На выходе из Р-2 и Р-3 суспензия состоит на 47 % из непрореагировавшего ПП и на 53 % из самого порошка ПП. Вся суспензия поступает в секцию дегазации для разделения потоков.

На первом этапе суспензия поступает в линию мгновенного испарения, где при температуре 90 °С и давлении 1,8 МПа происходит вскипание суспензии за счет подачи перегретого пара в рубашку трубопровода.

После этого вся масса поступает в емкость газа обратной продувки Е-4. Куда в рубашку емкости подается пар. Вследствие этого происходит

					<b>ВКР.171920.180301.ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		39

разделение на две фазы: газ и жидкость.

Газ параллельно проходит через фильтр среднего Фс-1, фильтр низкого давления Фн-1 и поступает в скруббер пропилена низкого давления Ск-1, где из газа удаляется порошок ПП и пары ТЭАЛ. Промывочная смесь состоит из 50 % парафинового масла и 50 % добавки Atmer 163.

Далее газ проходит через водяной холодильник Хв-4, где охлаждается до температуры 45 °С и подается в компрессор Кр-1, где сжимается до давления 2,2 МПа и, при температуре 112 °С смешиваясь с потоком газа, вышедшим из фильтра среднего давления, поступает в конденсатор пропилена К-1.

Газ, проходя последовательно конденсатор К-1, работающий на охлаждающей воде, и К-2, работающий на НЗХ, конденсируется и, с помощью центробежного насоса Н-7, поступает в емкость рециклового пропилена Е-2.

Порошок полипропилена из емкости газа обратной продувки Е-4 поступает в фильтр среднего Фс-1 и фильтр низкого давления Фн-1, которые представляют собой рукавные фильтры, автоматически очищаемые при помощи газа, вышедшего из Е-4.

Полимер, выгружаемый из фильтра Фн-1, содержит до 1 % масс растворенных мономеров (пропилен + пропан) и от 1 % до 1,5 % масс газов, поступает под действием силы тяжести в отпарной аппарат Оп-1, где движущийся слой полимера обрабатывается паром. Отпарной аппарат От-1 представляет собой вертикальную цилиндрическую емкость с рубашкой и с низкотемпературной мешалкой. В рубашку выпарного аппарата подается пар низкого давления. Температура в выпарном аппарате составляет 105 °С. Выпуск пропаренного полимера происходит под действием силы тяжести через регулирующий клапан.

Отходящий поток газа из отпарного аппарата От-1 направляется в циклон отпарного аппарата Ц-1, где происходит отделение содержащихся в нем мелких фракций полимера.

					<b>ВКР.171920.180301.ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		40



На выходе из От-1 порошок ПП поступает в сушилку Сш-1 для удаления воды (2,5 % влаги), которая осталась после обработки полимера водяным паром. Сушилка Сш-1 работает в замкнутом цикле азота. Азот нагревается в Т-2 до температуры от 90 °С до 100 °С и, поступая в аппарат, забирает все остатки влаги. На выходе из Сш-1 газ поступает сначала в циклон, для отделения унесенного порошка ПП, и далее в скруббер сушилки Сш-2.

Азот в Сш-2 промывается водой для достижения точки росы 45 °С. Скруббер оснащен каплеотбойником для предотвращения уноса капельной влаги.

Отпаренный и осушенный полипропилен с низа сушилки Сш-1 поступает в емкость хранения порошка ПП. Сюда же ссыпается унесенный порошок ПП из циклона Ц-2. Далее полипропилен отправляется на экструзию и грануляцию. Гранулированный полимер упаковывается в мешки по 250 кг и отправляется на склад готовой продукции.

#### 2.4 Материальный и тепловой баланс

Часовая производительность установки:

$$G_{\text{пп}}^{\cdot} = \frac{G_{\text{пп}} \cdot 1000}{n \cdot 24}, \quad (1)$$

где  $G_{\text{пп}}^{\cdot}$  – производительность установки по производству полипропилена, тыс.т/год;

$n$  – число рабочих дней в году.

$$G_{\text{пп}}^{\cdot} = \frac{550000 \cdot 1000}{333 \cdot 24} = 62836,0215 \text{ кг/ч}$$

Количество триэтилалюминия подается в соотношении ТЭАЛ/пропилен.

Принимаем соотношение равное 0,2:

$$G_{\text{ТЭАЛ}} = G_{\text{пп}}^{\cdot} \cdot 0,2, \quad (2)$$

$$G_{\text{ТЭАЛ}} = \frac{62836,0215 \cdot 0,2}{1000} = 12,5672 \text{ кг/ч}$$

Количество донора подается в соотношении ТЭАЛ/донор. Для марки XS

					<b>ВКР.171920.180301.ПЗ</b>	<i>Лист</i>
						41
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

принимая соотношение равное 25:

$$G_{\text{Донор}} = \frac{G_{\text{ТЭАЛ}}}{25}, \quad (3)$$

$$G_{\text{Донор}} = \frac{12,5672}{25} = 0,5027 \text{ кг/ч}$$

Из 1 кг катализатора получается 40000 кг продукта. Катализаторная паста состоит на 30 % из Ti нанесенного на MgCl<sub>2</sub> и минерального масла. Тогда:

$$G_{\text{кп}} \cdot \frac{30}{100} = \frac{G_{\text{пп}}}{40000}, \quad (4)$$

$$G_{\text{кп}} = \frac{100 \cdot 62836,0215}{40000 \cdot 30} = 5,2363 \text{ кг/ч}$$

Материальный баланс суспензии каталитического комплекса представлен в таблице 8.

Таблица 8 – Материальный баланс приготовления суспензии каталитического комплекса

Приход			Расход		
Вещество	% масс.	кг/ч	Вещество	% масс.	кг/ч
ТЭАЛ	68,6500	12,5672	Каталитический комплекс:	68,6500	12,5672
Донор	2,7460	0,5027			
Катализаторная паста:	8,5813	1,5709	- ТЭАЛ	2,7460	0,5027
			- Ti на MgCl <sub>2</sub>		
- Минеральное масло	20,0227	3,6654	- Катализаторная паста	28,6040	5,2363
ИТОГО:	100,0000	18,3062	ИТОГО:	100,0000	18,3062

В реакторы полимеризации подается пропилен, кат. комплекс и водород, который выступает в роли регулятора молекулярной массы полипропилена.

Общее количество пропилена, которое необходимо для производства 1 тонны полипропилена находится из соотношения:

$$G_{\text{проп}} = g_1 + g_2 + g_3, \quad (5)$$

где  $g_1$  – расход пропилена на 1 тонну для изотактического полипропилена, кг/ч;

$g_2$  – расход пропилена на 1 тонну для атактического полипропилена, кг/ч;

$g_3$  – расход пропилена на 1 тонну для олигомеров полипропилена, кг/ч.

На основании производственных данных общее количество пропилена:

$$G_{\text{проп}}^{\text{н}} = 1000 + 70 + 17 = 1087 \text{ кг/ч},$$

Для производства ПП с учетом конверсии количество пропилена:

$$G_{\text{проп}} = \frac{G_{\text{ПП}}^{\text{н}} \cdot G_{\text{проп}}^{\text{н}} \cdot 100}{1000 \cdot K_{\text{проп}}}, \quad (6)$$

где  $K_{\text{проп}}$  – конверсия пропилена, % масс.

$$G_{\text{проп}} = \frac{62836,0215 \cdot 1087 \cdot 100}{1000 \cdot 60} = 113837,9256 \text{ кг/ч}$$

В реактор со свежим пропиленом подаются инерты. Их количество составляет:

$$G_{\text{ин}} = G_{\text{проп}} \cdot \left(1 - \frac{X}{100}\right), \quad (7)$$

где  $X$  – концентрация свежего пропилена, % масс.

$$G_{\text{ин}} = 113837,9256 \cdot \left(1 - \frac{99,8}{100}\right) = 227,6739 \text{ кг/ч}$$

Инерты состоят из этана на 15 % масс и пропана на 85 % масс, тогда:

$$G_{\text{этан}} = G_{\text{ин}} \cdot \frac{15}{100}, \quad (8)$$

$$G_{\text{этан}} = 227,6759 \cdot \frac{15}{100} = 34,1514 \text{ кг/ч}$$

$$G_{\text{пропан}} = G_{\text{ин}} \cdot \frac{85}{100}, \quad (9)$$

$$G_{\text{пропан}} = 227,6759 \cdot \frac{85}{100} = 193,5245 \text{ кг/ч}$$

					<b>ВКР.171920.180301.ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		43

Для определения количества циркулирующего пропилена принимаем стопроцентную конверсию пропилена:

$$G_{\text{ц.проп}} = \frac{62836,0215 \cdot 1087}{10 \cdot 60} - \frac{62836,0215 \cdot 1087}{10 \cdot 100} = 45535,1702 \text{ кг/ч}$$

Количество образующегося атактического полипропилена:

$$G_{\text{пп}}^{\text{ат}} = \frac{g_2 \cdot G_{\text{пп}}^{\text{с}}}{1000}, \quad (10)$$

$$G_{\text{пп}}^{\text{ат}} = \frac{70 \cdot 62836,0215}{1000} = 4397,5215 \text{ кг/ч}$$

Количество жидких олигомеров, включающих потери:

$$G_{\text{пп}}^{\text{олиг}} = \frac{g_3 \cdot G_{\text{пп}}^{\text{с}}}{1000}, \quad (11)$$

$$G_{\text{пп}}^{\text{олиг}} = \frac{17 \cdot 62836,0215}{1000} = 1068,2124 \text{ кг/ч}$$

Количество водорода, которое подается в полимеризатор:

$$G_{\text{H}_2} = \frac{G_{\text{пп}}^{\text{с}} \cdot a_{\text{H}_2}}{100}, \quad (12)$$

где  $a$  – расход водорода, % масс.

$$G_{\text{H}_2} = \frac{62836,0215 \cdot 0,03}{100} = 18,8508 \text{ кг/ч}$$

Количество водорода на выходе составляет 5 % от  $G_{\text{H}_2}$

$$G_{\text{H}_2}^{\text{с}} = G_{\text{H}_2} \cdot 0,05, \quad (13)$$

$$G_{\text{H}_2}^{\text{с}} = 18,8508 \cdot 0,05 = 0,9425 \text{ кг/ч}$$

Потери жидких олигомеров:

$$G_{\text{пп}}^{\text{олиг}^{\text{с}}} = G_{\text{пп}}^{\text{олиг}} + (G_{\text{H}_2} - G_{\text{H}_2}^{\text{с}}), \quad (14)$$

$$G_{\text{пп}}^{\text{олиг}^{\text{с}}} = 1068,2124 + (18,8508 - 0,9425) = 1086,6207 \text{ кг/ч}$$

В таблице 9 представлен материальный баланс узла полимеризации.

					<b>ВКР.171920.180301.ПЗ</b>	<i>Лист</i>
						44
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

Исходные данные для расчета теплового баланса теплового баланса представлены в таблице 10.

Таблица 9 – Материальный баланс узла полимеризации

Приход			Расход					
Вещество	%масс.	кг/ч	Вещество	%масс.	кг/ч			
Пропилен	99,7676	113837,9256	Суспензия полипропилена: - ПП изотактический - ПП атактический - Олигомеры - Пропилен непрореагировавший - Водород - Инерты - Кат. комплекс: - Донор	55,0697	62836,0215			
Водород	0,0165	18,8508						
Кат. комплекс: - Ti на MgCl <sub>2</sub>	0,0014	1,5709						
- Минеральное масло	0,0032	3,6654						
- Донор	0,0004	0,5027						
- ТЭАЛ	0,0110	12,5672						
Инерты: - Этан	0,0299	34,1514						
- Пропан	0,1700	193,5245						
ИТОГО:	100,0000	114102,7585				ИТОГО:	100,0000	114102,7592

Таблица 10 – Исходные данные для расчета

Температура в реакторе, °С	80,00
Температура свежего пропилена, °С	22,00
Температура каталитического комплекса на входе в реактор, °С	22,00
Тепловой эффект реакции, кДж/кг	2470,00
Температура охлаждающей воды:	
- на входе, °С	15,00
- на выходе, °С	50,00
Теплоемкости:	
- пропилена, кДж/кг · град	77,20
- полипропилена, кДж/кг · град	1,93
- каталитического комплекса, кДж/кг · град	3,12
- воды, кДж/кг · град	4,20

Приход тепла с пропиленом:

$$Q_{\text{проп}} = (G_{\text{проп}} + G_{\text{ин}}) \cdot C_p^{\text{проп}} \cdot t_{\text{проп}}, \quad (15)$$

где  $C_p^{\text{проп}}$  – теплоемкость пропилена, кДж/кг · град;

$t_{\text{проп}}$  – температура свежего пропилена, °С.

$$Q_{\text{проп}} = (113837,9256 + 227,6739) \cdot 77,2 \cdot 22 = 193729014,1980 \text{ кДж/ч}$$

Приход тепла с суспензией каталитического комплекса:

					<b>ВКР.171920.180301.ПЗ</b>	Лист
						45
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$Q_{\text{кк}} = G_{\text{кк}} \cdot C_p^{\text{кк}} \cdot t_{\text{кк}}, \quad (16)$$

где  $C_p^{\text{кк}}$  – теплоемкость каталитического комплекса, кДж/кг · град;

$t_{\text{кк}}$  – температура каталитического комплекса, °С.

$$Q_{\text{кк}} = 18,3062 \cdot 3,12 \cdot 22 = 1256,5376 \text{ кДж/ч}$$

Теплота реакции полимеризации:

$$Q_p = (G_{\text{пп}}^{\text{изо}} + G_{\text{пп}}^{\text{атакт}} + G_{\text{пп}}^{\text{олиг}}) \cdot q_p, \quad (17)$$

где  $q_p$  – тепловой эффект реакции, кДж/кг.

$$\begin{aligned} Q_p &= (62836,0215 + 4397,5215 + 1086,6207) \cdot 2470 = \\ &= 168750804,3390 \text{ кДж/ч} \end{aligned}$$

Общий приход тепла на установку:

$$Q_{\text{прих}} = Q_{\text{проп}} + Q_{\text{кк}} + Q_p, \quad (18)$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{прих}} &= 193729014,1980 + 1256,5376 + 168750804,3390 = \\ &= 362481075,0746 \text{ кДж/ч} \end{aligned}$$

Расход тепла:

$$Q_{\text{пп}} = (G_{\text{пп}}^{\text{изо}} + G_{\text{пп}}^{\text{атакт}} + G_{\text{пп}}^{\text{олиг}}) \cdot C_p^{\text{пп}} \cdot t_p, \quad (19)$$

где  $C_p^{\text{пп}}$  – теплоемкость полипропилена, кДж/кг.

$$\begin{aligned} Q_{\text{пп}} &= (62836,0215 + 4397,5215 + 1086,6207) \cdot 1,93 \cdot 80 = \\ &= 10548633,2753 \text{ кДж/ч} \end{aligned}$$

Расход тепла с непрореагировавшим пропиленом и инертном:

$$\dot{Q}_{\text{проп}} = (G_{\text{проп}}^{\text{непр}} + G_{\text{ин}}) \cdot C_p^{\text{проп}} \cdot t_p, \quad (20)$$

$$\dot{Q}_{\text{проп}} = (45535,1702 + 227,6739) \cdot 77,2 \cdot 80 = 282631325,1616 \text{ кДж/ч}$$

Расход тепла с суспензией каталитического комплекса:

$$\dot{Q}_{\text{кк}} = G_{\text{кк}} \cdot C_p^{\text{кк}} \cdot t_p, \quad (21)$$

$$\dot{Q}_{\text{кк}} = 18,3062 \cdot 3,12 \cdot 80 = 4569,2275 \text{ кДж/ч}$$

Общий расход тепла:

					<b>ВКР.171920.180301.ПЗ</b>	Лист
						46
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$Q_{\text{расх}} = Q_{\text{пп}} + Q_{\text{проп}} + Q_{\text{кк}} + Q_{\text{отв}}, \quad (22)$$

$$Q_{\text{расх}} = 10548633,2753 + 282631325,1616 + 4569,2275 + 69296547,4102 = 362481075,0746 \text{ кДж/ч}$$

Тепловой баланс узла полимеризации представлен в таблице 11.

Средняя разность температур охлаждающей воды:

$$\theta_{\text{ср}} = \frac{\Delta(t_p - t_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{нач}}) - \Delta(t_p - t_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{кон}})}{2,3 \cdot \lg \frac{\Delta(t_p - t_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{нач}})}{\Delta(t_p - t_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{кон}})}}, \quad (23)$$

где  $t_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{нач}}$  – температура охлаждающей воды на входе, °С;

$t_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{кон}}$  – температура охлаждающей воды на выходе, °С.

$$\theta_{\text{ср}} = \frac{\Delta(80 - 15) - \Delta(80 - 50)}{2,3 \cdot \lg \frac{\Delta(80 - 15)}{\Delta(80 - 50)}} = 19,68^\circ\text{C}$$

Таблица 11 – Тепловой баланс узла полимеризации

Приход	% масс.	кДж/ч	Расход	% масс.	кДж/ч
Qпропилена	53,4453	193729014,1980	Qполипропилена	2,9101	10548633,2753
Qкат. комплекс	0,0003	1256,5376	Qнепрор. полипропилена	77,9596	282631325,1616
Qреакции	46,5544	168750804,3390	Qкат. комплекс	0,0013	4569,2275
			Qотв. воды	19,1173	69296547,4102
ИТОГО:	100,0000	362481075,0746	ИТОГО:	100,0000	362481075,0746

Общий расход воды:

$$Q_{\text{отв}} = G_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{охл}} \cdot C_p^{\text{H}_2\text{O}} \cdot (t_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{кон}} - t_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{нач}}), \quad (24)$$

$$G_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{охл}} = \frac{Q_{\text{отв}}}{C_p^{\text{H}_2\text{O}} \cdot (t_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{кон}} - t_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{нач}})},$$

где  $C_p^{\text{H}_2\text{O}}$  – теплоемкость воды, кДж/кг · град.

$$G_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{охл}} = \frac{69296547,4102}{4,2 \cdot (50 - 15)} = 471405,0844 \text{ кДж/ч}$$

Поверхность теплообмена в двух реакторах:

$$F = \frac{Q_{отв}}{K_T \cdot \theta_{ср}}, \quad (25)$$

где  $K_T$  – коэффициент теплопередачи, кДж/м<sup>2</sup>·ч·град.

$$F = \frac{69296547,4102}{750 \cdot 19,68} = 2694,8880 \text{ м}^2$$

## 2.5 Технологический расчет оборудования

### 2.5.1 Расчет реактора

Эскиз петлевого реактора представлен на рисунке 13.

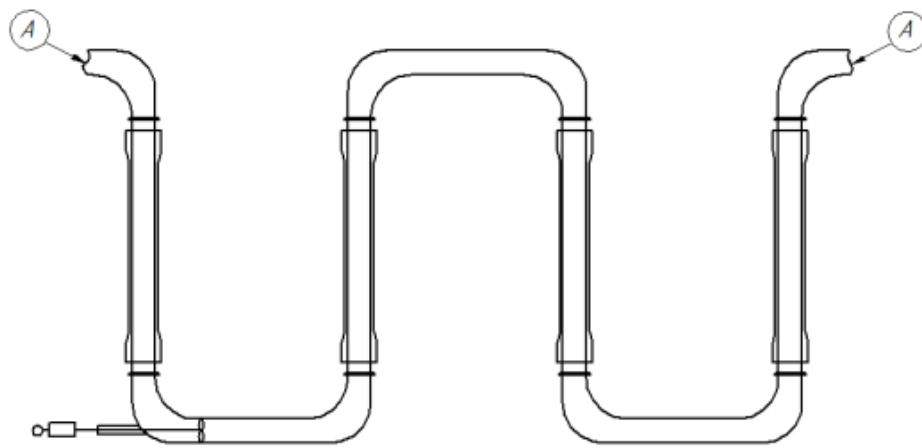


Рисунок 13 – Петлевой реактор полимеризации пропилена

Площадь поперечного сечения реактора:

$$f = \frac{W_0}{\omega}, \quad (26)$$

где  $W_0$  – объемная скорость потока, м<sup>3</sup>/с;

$\omega$  – скорость течения среды, м/с.

Примем на основании производственных данных объемную скорость равную 10000 м<sup>3</sup>/ч (2,78 м<sup>3</sup>/с), скорость течения среды – 6,75 м/с:

$$f = \frac{2,78}{6,75} = 0,41 \text{ м}^3$$

Диаметра реактора:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot f}{\pi}}, \quad (27)$$

					<b>ВКР.171920.180301.ПЗ</b>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		48



$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,41}{3,14}} = 0,72 \text{ м}$$

Длина реакционной зоны реактора:

$$L = \frac{V_p}{f} = \frac{W_0 \cdot \tau}{f}, \quad (28)$$

где  $V_p$  – объем реактора, м<sup>3</sup>/с;

$\tau$  – время реакции, с.

Примем на основании производственных данных время реакции равное 31 с. Тогда:

$$L = \frac{2,78 \cdot 31,00}{0,41} = 240 \text{ м}$$

Расчетная толщина обечайки:

$$S = \frac{P \cdot D}{2 \cdot \varphi \cdot \sigma_p - P} + C_1 + C_2, \quad (29)$$

где  $P$  – внутреннее давление, МПа;

$\varphi$  – коэффициент прочности продольного шва;

$\sigma_p$  – допускаемое напряжение при растяжении, Н/мм<sup>2</sup>;

$C_1, C_2$  – прибавка на коррозию и возможное отклонение толщины листа, мм.

На основании производственных данных принимаем коэффициент прочности продольного шва – 0,8 ед., допускаемое напряжение при растяжении – 163,5 Н/мм<sup>2</sup>, давление – 3,4 МПа, прибавка на коррозию – 2 мм.

$$S = \frac{3,4 \cdot 720}{2 \cdot 0,8 \cdot 163,5 - 3,4} + 2 = 11,48 \text{ мм}$$

Принимаем  $S = 12$  мм

Толщина эллиптической крышки:

$$S = \frac{P \cdot D}{2 \cdot \varphi \cdot \sigma_p - P} + C_1 + C_2, \quad (30)$$

$$S = \frac{3,4 \cdot 720}{2 \cdot 0,8 \cdot 163,5 - 0,5 \cdot 3,4} + 2 = 11,42 \text{ мм}$$

					<b>ВКР.171920.180301.ПЗ</b>	<i>Лист</i>
						49
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

Принимаем  $S = 12$  мм

Толщина стенки:

$$S = \frac{P \cdot D \cdot K_k}{4 \cdot \varphi \cdot \sigma_p} + C_1 + C_2, \quad (31)$$

где  $K_k$  – коэффициент формы, равный 1,9.

$$S = \frac{3,4 \cdot 720 \cdot 1,9}{4 \cdot 0,8 \cdot 163,5} + 2 = 10,89 \text{ мм}$$

Угол при основании конического днища равен  $90^\circ$

$$S = \frac{P \cdot D_p}{2 \cdot \varphi \cdot \sigma_p \cdot \cos \alpha} + C_1 + C_2, \quad (32)$$

где  $D_p$  – диаметр линии сопряжения, равный 500 мм.

$$S = \frac{3,4 \cdot 500}{2 \cdot 0,8 \cdot 163,5 \cdot 0,7} + 2 = 11,3 \text{ мм}$$

Из двух значений выбираем наибольшее. Поэтому, принимаем толщину днища 12 мм [31].

### 2.5.2 Расчет конденсатора

В качестве хладагента принимаем воду. Начальную температуру принимаем равной  $25^\circ\text{C}$ , конечную равной  $50^\circ\text{C}$ .

Теплота, которую нужно отвести, чтобы сконденсировать газ:

$$Q_{\text{конд}} = G_{\text{кон}} \cdot q_{\text{проп}}, \quad (33)$$

где  $G_{\text{кон}}$  – поток, который перейдет в сконденсированное состояние, кг/ч;

$q_{\text{проп}}$  – удельная теплота конденсации пропилена, кДж/кг.

$$Q_{\text{конд}} = \frac{45535,1702}{3600} \cdot 276 = 3491,03 \text{ кВт}$$

Массовый расход хладагента для отвода тепла:

$$G_{\text{вод}} = \frac{Q_{\text{конд}}}{C_{\text{вод}} \cdot (t_1 - t_2)}, \quad (34)$$

где  $C_{\text{вод}}$  – удельная теплоемкость воды при данной температуре, кДж/кг · град;

$t_1$  – начальная температура охлаждения, °С;

$t_2$  – конечная температура охлаждения, °С.

$$G_{\text{вод}} = \frac{3491,03}{4,184 \cdot (50 - 25)} = 33,37 \text{ кг/с}$$

Поверхность теплообмена:

$$F = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{\text{cp}}}, \quad (35)$$

где  $K$  – коэффициент теплопередачи, Вт/м<sup>2</sup> · град;

$\Delta t_{\text{cp}}$  – средний температурный напор, °С.

Средний температурный напор находим по формуле Грасгоффа:

$$\Delta t_{\text{cp}} = \frac{\Delta t_{\text{б}} - \Delta t_{\text{м}}}{\ln \frac{\Delta t_{\text{б}}}{\Delta t_{\text{м}}}}, \quad (36)$$

Температура входа в теплообменник равна 100 °С. Температура выхода из теплообменника равна 50 °С. Тогда  $\Delta t_{\text{б}}$ ,  $\Delta t_{\text{м}}$ :

$$\Delta t_{\text{б}} = T_1 - t_2, \quad (37)$$

$$\Delta t_{\text{б}} = 100 - 50 = 50^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_{\text{м}} = T_2 - t_1, \quad (38)$$

$$\Delta t_{\text{м}} = 50 - 25 = 25^\circ\text{C}$$

Благодаря полученным данным находим средний температурный напор по формуле (36):

$$\Delta t_{\text{cp}} = \frac{50 - 25}{\ln \frac{50}{25}} = 36,07^\circ\text{C}$$

Площадь теплообмена по формуле (35) [32]:

$$F = \frac{3491030}{350 \cdot 36,07} = 276,53 \text{ м}^3$$

### 2.5.3 Расчет сушилки

Расчетное время пребывания порошка полипропилена составляет два часа. Сушка производится на расстоянии 875 мм от основания газораспределения.

Соотношение времени пребывания и производительности определяется по следующей формуле:

$$t = \frac{S \cdot L}{V_n}, \quad (39)$$

где  $S$  – площадь сечения колонны, м;

$L$  – высота колонны, м;

$V_n$  – объемная производительность, кг/м<sup>3</sup>.

$$L = \frac{t \cdot V_n}{S} = \frac{t \cdot 4 \cdot G_n}{\pi \cdot D^2 \cdot \rho}, \quad (40)$$

где  $t$  – время пребывания порошка полипропилена, ч;

$G_n$  – массовый расход порошка полипропилена, кг/ч;

$\rho$  – плотность полипропилена, кг/м<sup>3</sup>;

$D$  – диаметр сушилки, м.

$$L = \frac{4 \cdot 2 \cdot 68302,8}{3,14 \cdot 3,5^2 \cdot 440} = 33 \text{ м}$$

Объем колонны:

$$V = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot L}{4}, \quad (41)$$

$$V = \frac{3,14 \cdot 3,5^2 \cdot 33}{4} = 317,34 \text{ м}^3$$

Объемный расход азота:

$$V = \frac{G_{\text{азот}}}{\rho}, \quad (42)$$

где  $G_{\text{азот}}$  – расход продувочного газа, кг/с;

$\rho$  – плотность азота, кг/м<sup>3</sup>.

$$V = \frac{0,15}{1,25} = 0,117 \text{ м}^3/\text{с}$$

Время, за которое азот производит вытеснение газа:

$$t = \frac{V}{V_{\text{азот}}}, \quad (43)$$

$$t = \frac{317,34}{0,117} = 2712 \text{ с}$$

Скорость азота:

$$W = \frac{L}{t}, \quad (44)$$

$$W = \frac{33 \cdot 1000}{2712} = 12,17 \text{ мм/с}$$

Получившийся массовый расход азота позволяет достигнуть вытеснения углеводородных газов [33].

#### 2.5.4 Расчет насоса

Рассчитаем насос Н-7, который предназначен для подачи конденсированного пропилена в емкость Е-2.

Напор насоса находим по следующей формуле:

$$H = \frac{P_{\text{ВЫХ}} - P_{\text{ВХ}}}{\rho \cdot g} + H_{\Gamma} + h_{\Pi}, \quad (45)$$

где  $P_{\text{ВХ}}$  – давление на всасывающей патрубке, МПа;

$P_{\text{ВЫХ}}$  – давление на нагнетательной патрубке, МПа;

$\rho$  – плотность пропилена при 2,0 МПа и 50 °С;

$H_{\Gamma}$  – высота нагнетания, м;

$h$  – потенциальный напор на всасывающей и нагнетательных патрубках.

Примем на основании производственных данных давление на всасывающей патрубке, равному давлению всей секции отпаривания – 1,8 МПа. Давление на вы нагнетательной патрубке – 2,0 МПа, геометрическая

					<b>ВКР.171920.180301.ПЗ</b>	Лист
						53
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

высота равна 9 м, потерянный напор – 2 м. Плотность жидкого пропилена при данных условиях – 478,44 кг/м<sup>3</sup>. Тогда:

$$H = \frac{2000000 - 1800000}{478,44 \cdot 9,81} + 9 + 2 = 53,61 \text{ м}$$

Полезная мощность насоса:

$$N_{\text{пол}} = V \cdot \rho \cdot g \cdot H, \quad (46)$$

где  $V$  – объемный расход пропилена, равный 0,024 м<sup>3</sup>/с.

$$N_{\text{пол}} = 0,024 \cdot 478,44 \cdot 9,81 \cdot 53,61 = 6,0 \text{ кВт}$$

Объемный расход насоса:

$$V = \frac{G}{\rho}, \quad (47)$$

где  $G$  – массовый расход непрореагировавшего пропилена, кг/ч.

$$V = \frac{45535,1702}{478,44} = 95,17 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Мощность насоса на валу:

$$N_L = \frac{N_{\text{пол}}}{\eta_n}, \quad (48)$$

где  $\eta_n$  – к.п.д насоса, равное 0,7.

$$N_L = \frac{6,0}{0,7} = 8,57 \text{ кВт}$$

Мощность, потребляемая электродвигателем насоса:

$$N_{\text{дв}} = \frac{N_L}{\eta_{\text{пер}} \cdot \eta_{\text{дв}}}, \quad (49)$$

где  $\eta_{\text{пер}}$  – к.п.д. передачи от электродвигателя. Примем  $\eta_{\text{пер}} \cdot \eta_{\text{дв}} = 0,9$ .

$$N_{\text{дв}} = \frac{8,57}{0,9} = 9,52 \text{ кВт}$$

Установочная мощность двигателя [34]:

					<b>ВКР.171920.180301.ПЗ</b>	Лист
						54
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$N_{\text{уст}} = \beta \cdot N_{\text{дв}}, \quad (50)$$

где  $\beta$  – коэффициент запаса мощности.

Коэффициент запаса мощности  $\beta$  для  $N_{\text{дв}}$  более 5 кВт равен 1,1.

$$N_{\text{уст}} = 1,1 \cdot 9,52 = 10,47 \text{ кВт}$$

					<b>ВКР.171920.180301.ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		55

### 3 БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ

#### 3.1 Воздействие на окружающую среду используемых веществ на установке

Пропилен – бесцветный газ, без вкуса, со слабым запахом. Пожаро- и взрывоопасен. Температура самовоспламенения – 410 °С. Пропилен по степени воздействия на организм относится к четвертому классу опасности. Предельно допустимая концентрация пропилена в воздухе рабочей зоны – 100 мг/м<sup>3</sup>. При превышении ПДК пропилен оказывает наркотическое действие, вызывает головную боль, головокружение, ослабление дыхания, удушье, нарушение кровообращения, потерю сознания. Средства индивидуальной защиты органов дыхания при превышении ПДК: изолирующий самоспасатель, дыхательный аппарат со сжатым воздухом, кислородно-изолирующий противогаз; при работе в замкнутых пространствах – шланговый противогаз ПШ-1 или ПШ-2 или другие изолирующие средства индивидуальной защиты органов дыхания. С целью охраны атмосферного воздуха от загрязнений выбросами вредных веществ должен быть организован контроль за соблюдением нормативов выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух [35].

Водород – бесцветный горючий газ без запаха. Химическая активность водорода увеличивается при повышенной температуре, под действием ультрафиолетового и радиоактивного излучений. С воздухом и кислородом образует взрывоопасную смесь. Пределы взрываемости с воздухом от 4 % до 75 %, с кислородом от 4 % до 95 %. Температура самовоспламенения водорода 510 °С. Газообразный чистый водород не оказывает вредного воздействия на окружающую среду [36].

					<b>ВКР.171920.180301.ПЗ</b>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
Разраб.		Шпак Е.Д.			<i>Расчёт установки полипропилена</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
Провер.		Лескова С.А.					56	64
Н. контр.		Родина Т.А.				<i>АмГУ, ИФФ, гр. 718-об</i>		
Зав. каф.		Гужель Ю.А.						



ТЭАЛ – легковоспламеняющаяся жидкость третьего класса опасности. При контакте с водой и воздухом возможно воспламенение или взрыв. ПДК – 2 мг/м<sup>3</sup>. Причиняет ожоги, вызывает повреждения роговицы и век. Раздражает дыхательные пути, может в дальнейшем вызвать отек легких.

Также к специфическим жидким и твердым отходам, которые должны периодически выводиться с установки относятся: минеральное масло с примесями катализатора, донора или ТЭАЛ; сточная вода со следами углеводородов и порошка полипропилена с факельной установки; гранулы из молекулярного сита; порошок полипропилена; гранулы полипропилена и использованные фильтрующие элементы. Влияние на окружающую среду может оказываться за счет загрязнения воздуха, воды или почвы, либо посредством шумового воздействия.

На установке приняты надежные меры контроля загрязнения атмосферы: подключение вентиляций, дренажей к факельной системы, в случае образования горючих, взрывоопасных и токсичных смесей; переработка отходов установки или сброс их на факел; ограниченные, периодические выбросы в атмосферу путем минимизации фланцевых соединений и использования высококачественной уплотнительной системы [37].

### **3.2 Основные требования безопасности при эксплуатации установки**

Основные опасности производства, обусловлены особенностями технологического процесса или выполнения отдельных производственных операций, особенностями используемого оборудования и условиями его эксплуатации, вызванные нарушениями правил безопасности работниками.

Потенциальная опасность используемого на производстве оборудования и трубопроводов заключается в возможности нарушения герметичности с выходом взрывопожароопасных и токсичных продуктов из рабочего объема в окружающую среду, что может привести к образованию и взрыву ТВС, возникновению пожара и отравлениям обслуживающего персонала.

					<b>ВКР.171920.180301.ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		57

Наиболее опасными местами на производстве являются конструкции реакторов полимеризации и сепараторов паров реакции, а также колодцы, прямки и другие низкие места, где могут скапливаться взрывоопасные пары и газы.

Оборудование для переработки полипропилена и сополимеров пропилена должно соответствовать ГОСТ 12.2.003-91 «Система стандартов безопасности труда. Оборудование производственное. Общие требования безопасности» [38], оградительные устройства и предохранительные приспособления – ГОСТ 12.2.062-81 «Система стандартов безопасности труда. Оборудование производственное. Ограждения защитные» [39], средства защиты от статического электричества – ГОСТ 12.1.018-79 «Система стандартов безопасности труда. Статическое электричество. Искробезопасность. Общие требования» [40].

Пропускная способность, расчетные параметры и материальное исполнение оборудования обеспечивают нормальное ведение технологического процесса.

Технологическое оборудование по надежности и конструктивным особенностям выбрано с учетом физико-химических свойств, обращающихся в нем продуктов, параметров технологического процесса, производительности и климатических условий.

При использовании оборудования, где возможно превышение технологического давления выше расчетного давления аппарата, предусмотрено регулирование давления клапанами и защита оборудования предохранительными клапанами со сбросом в факельную систему.

В соответствии с требованиями «Общих правил взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств» технологическая схема процесса разделена на блоки, которые в случае необходимости могут быть моментально отключены отсекающими устройствами от общей системы.

Технологический процесс на установке спроектирован таким образом, чтобы исключить постоянное образование жидких и твердых отходов.

					<b>ВКР. 171920.180301.ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		58

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В разделе литературный обзор представлены свойства полипропилена, приведен механизм полимеризации, рассмотрены основные технологии производства полипропилена и аппаратное оформление процесса.

В технологической части приведена характеристика сырья и готовой продукции. Составлен материальный и тепловой балансы узла полимеризации. Выполнены расчеты основного и вспомогательного оборудования – реактора, конденсатора, сушилки и насоса.

В заключительной части работы приведена принципиальная технологическая схема установки производства полипропилена.

Таким образом, решены поставленные задачи в полном объеме, цель бакалаврской работы достигнута.

					<b>ВКР.171920.180301.ПЗ</b>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Шпак Е.Д.</i>			<i>Расчёт установки полипропилена</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Провер.</i>		<i>Лескова С.А.</i>					59	64
<i>Н. контр.</i>		<i>Родина Т.А.</i>				<i>АмГУ, ИФФ, гр. 718-об</i>		
<i>Зав. каф.</i>		<i>Гужель Ю.А.</i>						

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1 Белокурова, А. П. Химия и технология получения полиолефинов: учебное пособие / А. П. Белокурова. – Иваново : Гос. хим.- технол ун-т., 2011. – 126 с.

2 Ровкина, Н. М. Химия и технология полимеров. Технологические расчеты в синтезе полимеров. Сборник примеров и задач: учебное пособие / Н. М. Ровкина, А. А. Ляпков. – СПб. : Лань, 2019. – 168 с.

3 Майерс, Р. А. Основные процессы нефтехимии. Справочник : пер. с англ. / Р. А. Майерс; под ред. И. А. Голубевой. – СПб.: ЦОП Профессионал, 2015. – 752 с.

4 Производство полимеров, в том числе биоразлагаемых: информационно технический справочник по наилучшим доступным технологиям / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии – ИТС 32-2017. – М: Бюро НДТ, 2017. – 401с.

5 Бадрик, Д. Л. Нефтехимия / Д. Л. Бадрик, У. Л. Люффлер. – М. : Олимп-Бизнес, 2015. – 496 с.

6 Polypropylene production optimization in fluidized bed catalytic reactor [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.sciencedirect.com> – 11.05.2021.

7 Polypropylene as a Promising Plastic [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.sciencedirect.com> – 11.05.2021.

8 Ситченко, И. С. Полипропилен / И. С. Ситченко. – М. : Химия, 1987. – 516 с.

9 Амброж, И. Полипропилен / И. Амброж, Л. Амброж. – Ленинград : Химия, 1967. – 316 с.

					<b>ВКР.171920.180301.ПЗ</b>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
Разраб.		Шпак Е.Д.			<i>Расчёт установки полипропилена</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
Провер.		Лескова С.А.					60	64
Н. контр.		Родина Т.А.				<i>АмГУ, ИФФ, гр. 718-об</i>		
Зав. каф.		Гужель Ю.А.						

10 Лapidус, А. Л. Газохимия / А. Л. Лapidус, И. А. Голубева, Ф. Г. Жагфаров. – М. : Издательский центр РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2013. – 407 с.

11 Лич, Б. Катализ в промышленности / Б. Лич, Ю. Сандерс, Э. Шлоссмахер и др. – М. : Мир, 1986. – 324 с.

12 Кочнев, А. М. Химия высокомолекулярных соединений / А. М. Кочнев, Р. Р. Спиридонова, С. С. Галибеев. – Казань : Изд-во Казан. гос. технол. ун-та, 2010. – 357 с.

13 Пат. 2465284 Российская федерация, МПК C08F 2/00, C08F 2/18, C08F 10/00. Способ полимеризации олефинов с помощью многопетлевых реакторов / П. Джузеппе. – № 2010111789/04 ; Заявл. 07.08.2008 ; Опубл. 27.10.2012.

14 Воробьев, В. А. Технология полимеров: Учебник для вузов / В. А. Воробьев, Р. А. Андрианов. – М. : Высш. Школа, 1980. – 303 с.

15 Кузнецов, Е. В. Альбом технологических схем производства полимеров и пластических масс на их основе / Е. В. Кузнецов. – Л. : Химия, 1976. – 180 с.

16 Пат. 2648675 Российская Федерация, МПК C2 C08F 210/06, C08L 23/12, C08L 23/14, C08J 5/18, B29C 49/04. Полипропилен для применения в пленках / Д. Ванг, М. Гахлеитнер, Й. Лильхья; заявитель и патентообладатель БОРЕАЛИС. - № 2015153092; заявл. 12.05.2014; опубл. 27.06.2017, Бюл. № 18. – 33 с.

17 Пат. 2648675 Российская Федерация, МПК C2 C08F 4/646, C08F 110/06. Комплексный металлоорганический катализатор полимеризации пропилена, способ получения эластомерного стереоблочного полипропилена / З. М. Джабиева, С. В. Топилин, С. А. Кузнецова и др; заявитель и патентообладатель ИПХФ РАН. - № 2004122576/04; заявл. 26.07.2004; опубл. 27.04.2006, Бюл. № 12. – 13 с.

					<b>ВКР.171920.180301.ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		61

18 Савельев, О. В. Современные каталитические системы в производстве полипропилена / О. В. Савельев, А. Нухулы, И. В. Мальков. – Павловский государственный университет им С. Торайгырова, 2013. – 138 с.

19 Цветкова, В. И. Металлоценовый катализ в процессах полимеризации  $\alpha$ -олефинов / В. И. Цветкова. – М. : Химия, 2000. – 20 с.

20 Иванюков, Д. В. Полипропилен / Д. В. Иванюков, М. Л. Фридман. – М. : Химия, 1974. – 270 с.

21 Кренцель, Б. А. Полипропилен / Б. А. Кренцель, Л. Г. Сидорова. – Киев : Техника, 1964. – 89 с.

22 Ельн, А. С. Основные процессы и аппараты химической технологии / А. С. Ельн. – М. : Химия, 1999. – 847 с.

23 Гончаров, А. К. Процессы и аппараты химической технологии: учебное пособие / А. К. Гончаров, А. В. Климов, А. С. Козлов. – М. : Химия, 2017. – 561 с.

24 Разинов, А. И. Процессы и аппараты химической технологии: учебное пособие / А. И. Разинов, А. В. Климов, Г. С. Дьяконов. – Казань. : Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2017. – 860 с.

25 Банных, О. П. Оборудование для нефтехимических производств. Часть 2: учебное пособие / О. П. Банных. – СПб. : Университет ИТМО, 2015. – 44 с.

26 Касаткин, А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А. Г. Касаткин. – М. : Химия, 1973. – 752 с.

27 Гужель, Ю. А. Процессы и аппараты химической технологии. Ч. 1. Гидромеханические процессы и аппараты : учебное пособие для СПО / Ю. А. Гужель. – Саратов : Профобразование, 2021. – 95 с.

28 Мухленов, И. П. Общая химическая технология / И. П. Мухленов [и др.] ; под ред. А. Г. Амелина. – М. : Химия, 1977. – 399 с.

					<b>ВКР.171920.180301.ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		62

29 Уайт, Дж. Полиэтилен, полипропилен и другие полиолефины. Свойства, развитие структуры, переработка / Дж. Уайт, Д. Чай. – СПб. : Профессия, 2006. – 256 с.

30 ГОСТ 26996-86 Пропилен и сополимеры пропилена. Технические условия. – введ. 01.01.1988. – Госстандарт России ; М. : Изд-во стандартов, 1989. – 77 с.

31 Вейлас, С. Химическая кинетика и расчеты промышленных реакторов / С. Вейлас ; под редакцией проф. Л. А. Семенова. – М. : Химия, 1964. – 432 с.

32 Сарилов, М. Ю. Расчет конденсаторов / М. Ю. Сарилов, А. А. Молотков. – Комсомольск-на-Амуре : ФГБОУ ВПО «КНАГТУ», 2015. – 20 с.

33 Ровкина, В. М. Технологические расчеты в процессах синтеза полимеров : сборник примеров и задач. / Н. М. Ровкина, А. А. Ляпков. – Томск : Изд-во ТПУ, 2004. – 167 с.

34 Лащинский, А. А. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры : справочник. / А. А. Лащинский, А. Р. Толчинский. – Л. : Машиностроение, 1970. – 752 с.

35 ГОСТ 25043-2013 Пропилен. Технические условия ; введ. 2015.01.01. – Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации ; М. : Стандартинформ, 2019. – 12 с.

36 ГОСТ Р 51673-2000 Водород газообразный чистый. Технические условия. – введ. 2002.01.01. – Госстандарт России ; М. : Изд-во стандартов, 2001. – 8 с.

37 ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны (с Изменением N 1). – Взамен ГОСТ 12.1.005-76 ; введ. 1989-01-01. – Гос. комитет СССР по стандартам ; М. : Стандартинформ, 2008. – 49 с.

38 ГОСТ 12.2.003-91. Система стандартов безопасности труда. Оборудование производственное. Общие требования безопасности. – Взамен ГОСТ 12.2.003-74 ; введ. 01.01.1992. – М. : ИПК Издательство стандартов, 2001. – 18 с.

					<b>ВКР.171920.180301.ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		63

39 ГОСТ 12.2.062-81. Система стандартов безопасности труда. Оборудование производственное. Ограждения защитные. – Взамен ГОСТ 12.2.062-80 ; введ. 01.07.1982. – М. : Стандартиформ, 2006. – 14 с.

40 ГОСТ 12.2.062-81. Система стандартов безопасности труда. Оборудование производственное. Ограждения защитные. – Взамен ГОСТ 12.2.062-80 ; введ. 01.07.1982. – М. : Стандартиформ, 2006. – 14 с.

					<b>ВКР.171920.180301.ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		64



