

**СӘТБАЕВ  
УНИВЕРСИТЕТІ**



**КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ имени К.И. САТПАЕВА**

**ИНСТИТУТ ХИМИЧЕСКИХ И БИОЛОГИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ  
КАФЕДРА ХИМИЧЕСКОЙ И БИОХИМИЧЕСКОЙ ИНЖЕНЕРИИ**

**ИСКАКОВ ДАУРЕН БАУЫРЖАНОВИЧ**

**«ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЦЕХА ПО ПРОИЗВОДСТВУ ПОЛИПРОПИЛЕНА»**

**ДИПЛОМНАЯ РАБОТА**

**5В072100– «ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ»**

**АЛМАТЫ 2020**

**КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ имени К.И. САТПАЕВА**

**СЭТБАЕВ  
УНИВЕРСИТЕТИ**



**ИНСТИТУТ ХИМИЧЕСКИХ И  
БИОЛОГИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ**

**КАФЕДРА ХИМИЧЕСКОЙ И  
БИОХИМИЧЕСКОЙ ИНЖЕНЕРИИ**

Допущен к защите  
Заведующий кафедрой  
д.х.н., профессор  
Г.Ж. Елигбаева  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 г.

**ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ**

на тему: «ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЦЕХА ПО ПРОИЗВОДСТВУ  
ПОЛИПРОПИЛЕНА»

по специальности 5В072100 – «Химическая технология органических веществ»

Выполнил выпускник

Д. Б. Искаков

Научный руководитель

лектор М.Е. Нурсултанов

Алматы 2020

## РЕФЕРАТ

*Есеп берудің мазмұнында:* 36 бет, 4 сурет, 20 кесте, 10 пайдаланылған әдебиет.

*Түйінді сөздер:* Полипропилен, полимерлеу, гомополимер полипропилен, сополимер полипропилен, триэтилалюминий, газ фазасын полимерлеу.

*Жобаның мақсаты:* Газ фазасын полимерлеу әдісімен полипропилен өндірісі цехының дизайны.

*Қолданылған әдістер мен аппаратуралар:* Графикалық сызбаларға AutoCad программасы қолданылды.

*Жобаның нәтижелері:* Газ фазалы полимеризация қондырғысында полипропилен ұнтағын Новолен әдісін қолдану арқылы жобалау.

*Практикалық қолданылуы:* Қазақстан Республикасында полипропилен ұнтағын өндіру.

## РЕФЕРАТ

*Работа содержит:* 36 стр., 4 рис., 20 табл., 10 использованных источников.

*Ключевые слова:* Полипропилен, полимеризация, гомополимерный полипропилен, сополимерный полипропилен, триэтилалюминий, газофазная полимеризация.

*Цель проекта:* Проектирование цеха по производству полипропилена методом газофазной полимеризации.

*Использованные методы и аппаратуры:* Для создания чертежа использована программа AutoCAD 2018

*Результаты проекта:* Проектирование порошкового полипропилена на установке газофазной полимеризации методом Novolen.

*Практическое использование:* Выпуск порошкового полипропилена в Республике Казахстан.

## **ABSTRACT**

*The work contains:* 36 pp., 4 fig., 20 tab., 10 sources used.

*Key words:* Polypropylene, polymerization, homopolymer polypropylene, copolymer polypropylene, triethyl aluminum, gas-phase polymerization.

*Project goal:* Designing a workshop for the production of polypropylene by gas-phase polymerization.

*Methods and equipment used:* AutoCAD 2018 was used to create the drawing.

*Project results:* Design of polypropylene powder in a gas phase polymerization unit using the Novolen method.

*Practical use:* Production of polypropylene powder in the Republic of Kazakhstan.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение	6
1 Основная часть	7
1.1 Изомеры полипропилена	7
1.2 Ассортимент выпускаемой продукции и мощность проекта	8
1.3 Виды установок по производству полипропилена	8
1.4 Технология полимеризации в растворе	9
1.5 Технология полимеризации в жидкой фазе	9
1.6 Технология полимеризации в газовой фазе	9
1.7 Технология полимеризации в комбинированной жидкой и газовой фазе	10
1.8 Сравнение технологий производства полипропилена	11
1.9 Выбор технологии производства полипропилена	15
1.10 Требования к исходному пропилену	16
1.11 Нормы вспомогательных материалов	16
2 Технологическая часть	20
2.1 Место расположение проекта	20
2.2 Блок схема и принципиальная схема получения полипропилена	20
2.3 Блок переработки пропилена	20
2.4 Блок триэтилалюминия	21
2.5 Блок изопропилового спирта	22
2.6 Блок силана донора электронов	22
2.7 Блок подготовки и входа катализатора	23
2.8 Блок полимеризации	23
2.9 Блок сжатия газ-носителя	26
2.10 Мембранная единица сбора	26
2.11 Перевозка и хранение порошкового материала	27
2.12 Упаковка продукта	27
2.13 Материальный баланс производства полипропилена	27
3 Охрана окружающей среды и охрана труда	29
3.1 Охрана окружающей среды	29
3.2 Охрана труда	30
4 Экономическая часть	31
Заключение	33
Список использованной литературы	34
Приложение А – Характеристики типовых продуктов	35
Приложение Б – Чертеж реактора полимеризации	36

## ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день значительное влияние на мировую экономику оказывают разработка и использование полимерных материалов. Одним из таких материалов является полипропилен (ПП). Нынешний мировой спрос на этот материал создает годовой объем рынка около 62 млн. метрических тонн и согласно некоторым оценкам рынка, к 2024 году спрос вырастет примерно до 75 млн. метрических тонн. Основными конечными потребителями полипропилена являются упаковочная промышленность, которая потребляет около 34% от общего объема, за которым следует производство текстиля и волокон 18%, автомобильная промышленность 12%. Инфраструктура и строительство 9%, электротехника потребляет 7%, а производство бытовых товаров 6% рынка. Здравоохранение совместно с фармацевтикой 4%, сельское хозяйство также занимает 4%. Остающиеся 6% занимают другие промышленности мирового потребления полипропилена [8]. Согласно прогнозам «FORTUNE BUSINESS INSIGHTS» объем мирового рынка полипропилена в 2018 году составил 79,5 млрд. долларов США, и, согласно прогнозам, к 2026 году он достигнет 122,31 млрд. долларов США, при этом совокупный годовой темп роста составит 5,5% в течение прогнозируемого периода [9].

Полипропилен был впервые полимеризован в 1951 году Полом Хоганом и Робертом Бэнксом. Джулио Натта усовершенствовал способ полимеризации в Испании в 1954 году. Спустя три года широкое коммерческое производство началось в Европе [7].

Учитывая положения нынешней экономики менее рискованным, кажется, постройка малотоннажных производств.

Достоинства малотоннажных производства:

- малотоннажных производства намного легче, дешевле и быстрее изменить или обновить;
- капиталовложения для малотоннажных производств намного меньше, чем для крупных заводов, а также они быстрее окупаются;
- малотоннажных производства активнее многотоннажного, оно способно быстрее и легче адаптироваться состоянию меняющегося рынка.
- формирование такого производства в значительной степени способствует территориальному и отраслевому перетоку труда и капитала.

Проектируемый цех по производству полипропилена рационально будет построить рядом с источником сырья, а именно НПЗ, в виде малотоннажного завода. И тем самым предприятие будет более эффективным и выгодным.

## 1 Основная часть

### 1.1 Изомеры полипропилена

Для полипропилена стереорегулярность метильной группы является важной характеристикой, влияющей на его плотность, температуру плавления, вязкость, степень его кристалличности. ПП имеет три возможных расположения метильных групп [1].

В изотактическом полимере все метильные группы располагаются на одной плоскости. Для синдиотактического ПП метильные группы находятся двух противоположных плоскостях поочередно. Метильные группы атактического полимера расположены случайно. Расположение метильных групп изображено в рисунке 1.

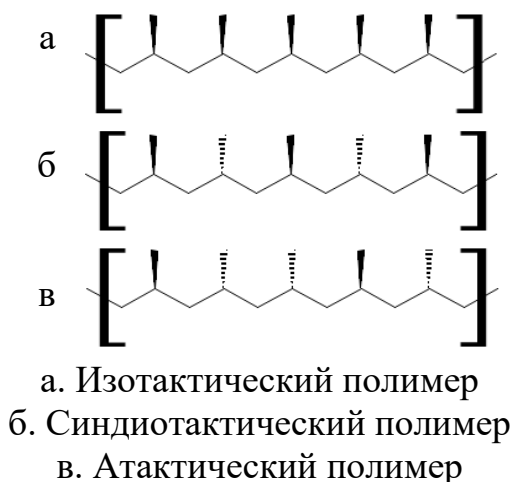


Рисунок 1 – Расположение метильной группы в полипропилене

Самыми важными являются полимеры с постоянной структурой такие как изотактические и синдиотактические. Их постоянность позволяет ПП достичь высокой прочности, степени кристалличности, температуры плавления, а также стойкость к растворителям. Атактический ПП представляет с собой бесформенный каучукоподобный материал с более низкой температурой плавления, в связи с этим он считается отходом производства, который необходимо отделить от изотактического полимера. Изотактический ПП представляет с собой порошок белого цвета. Характеристики изомеров ПП указаны в таблице 1 [2].

Таблица 1 – Характеристики изомеров ПП

Стериоизомеры ПП	Температура плав., °С	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Степень кристалличности, %	Характеристическая вязкость
Изотактический	165 – 175	900 – 920	68	2,1
Синдиотактический	114 – 170	850 – 900	27 – 64	0,5 – 1,2
Атактический	70 – 90	850	0	0,46



## **1.2 Ассортимент выпускаемой продукции и мощность проекта**

В связи с ограниченным источником сырья установка порошкового полипропилена данного проекта может производить только гомополимерный продукт, и в данное время рекомендуется выпуск одного из 5 видов типовых продуктов, марки которых соответственно 1000N, 1102K, 1104K, 1105SC, 1148T соответствующих требованиям ГОСТ26996-86 [6]. Характеристики данных видов гомополимерных порошково-полипропиленовых продуктов подробно приведены в Приложении 1 – Характеристики типовых продуктов. Проектируемая мощность производства составляет 110 000 т/год.

## **1.3 Виды установок по производству полипропилена**

Технология установки производства полипропилена в основном разделяется на пять видов [1]:

- 1 технология полимеризации в растворе;
- 2 технология полимеризации в жидкой фазе;
- 3 технологии полимеризации в газовой фазе;
- 4 технология по комбинированию жидкой и газовой фазе.

На сегодняшний день в мире передовая технология по газовой фазе и комбинированная технология по суспензии и газовой фазе в основном предназначены для строения установки производства зернистого продукта мощностью более 200 тыс. т/г., и максимальная производственная мощность отдельной линии по таким технологиям может достигать до 600 тыс.т./г.

Компания «China Hebei Yingke Petrochemical Engineering Co., Ltd.» имеет 2 однолинейных полимеризационных реактора по технике непрерывного метода SPG, и теплоотдача полимеризационного куба осуществляется испарением пропилена. В Китае уже созданы 6 комплектов установок производства полипропилена, использующих данную технологию. Мощность установки находится в пределе 70 тыс. т/г. до 200 тыс. т/г.

Технология Spheripol компании «Basell» представляет собой комбинированную технологию по комбинированию суспензии и газовой фазе, в настоящее время установка, построенная по данной технологии, имеет минимальную мощность 200 тыс. т/г. и максимальную мощность до 450 тыс. т/г. Данная технология оказывается одной из самых передовых в мире.

Для технологии по газовой фазе Novolen компания «NOVOLEN» разработала полимеризационный реактор, однолинейная мощность которого составляет 600 тыс. т/г. Компания «NOVOLEN» разрабатывает технологий производства крупномасштабных установки, а также активно разрабатывает маломасштабные установки. Одной из таких маломасштабных установок является установка производства полипропилена мощностью 70 тыс. т/г. построенная в Колумбии в 2010г.

#### **1.4 Технология полимеризации в растворе**

Технология получения полипропилена в растворе проводится в среде с растворителем, которым служат насыщенные углеводороды, например нефрас. В качестве катализатора для данного процесса используют - нанесенный титаномагниевого катализатор, донором и сокатализатором служит триэтилалюминия. Для регулирования молекулярной массы применяется водород. Полимеризацию проводят в двух последовательных реакторах. В реакторах смесь чистого пропилена, катализатора и растворителя при перемешивании нагревается до 50 – 80 °С и давлении от 0,6 – 1,0 МПа.

Во время полимеризации образовавшийся полипропилен выпадает в осадок. После реакторов собранная суспензия поступает в дегазаторы, в которых происходит отделение пропилена при пониженном давлении равным до 0,04 Мпа при температуре 50 – 60 °С. Затем отделенная суспензия перекачивается в буферную емкость, а далее в центрифугу, которая разделяет мокрый полимер от нефраса. Получившийся порошок ПП высушивается с помощью горячего азота, после этого он отправляется на установку гранулирования [4].

#### **1.5 Технология полимеризации в жидкой фазе**

Технология по жидкой фазе заключается в том, жидкий пропилен выполняет функцию углеводородного разбавителя, в отличие от полимеризации в растворе. Катализатор непосредственно рассредоточивается в жидкофазном пропилене для проведения реакции полимеризации жидкой фазы пропилена. По разным применяемым полимеризационным реакторам жидкофазный метод разделяется на технологию кубовой полимеризации и технологию петлевой полимеризации. В том числе из технологии петлевой полимеризации чаще всего применяются технология Spheripol компании «Basell» и технология Borstar, самая новая разработанная компанией «Borealis»; из технологии кубовой полимеризации чаще всего применяется технология Hupol компании «Mitsui oil & Chemical Co., Ltd». Чаще всего процесс ведется при температуре 75 – 80 °С и давлении 3,2 – 4,5 МПа.

#### **1.6 Технология полимеризации в газовой фазе**

Технология по газовой фазе заключается в образовании полипропилена реакцией полимеризации мономера пропилена в газофазном состоянии. Температура в реакторах составляет 65 – 90 °С и давлении 2,5 – 3,5 Мпа. По разным видам реакторов технология по газовой фазе может разделяться на технологию по размешивающему слою (вертикальному размешивающему слою и горизонтальному размешивающему слою) и технологию по слою псевдооживления газовой фазы [3]. В типовые технологии по газофазному методу входят технология по горизонтальному размешивающему слою Innovene Компании Ineos, технология по вертикальному размешивающему слою Novolen Компании NOVOLEN и технология полимеризации газовой фазы Unipol

Компании Dow/UCC. Наименование основных патентовладельцев и технологий газофазного метода и типы полимеризационных реакторов подробно представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Патентовладельцы и технологии газофазного метода полимеризации

Патентовладелец	Технология процесса	Тип реактора полимеризации
Компания «Ineos»	Innovene	Газофазный реактор с горизонтальным размешивающим слоем
Компания «Basell»	Spherizone	Многозонный циркуляционный реактор (гомополимеризация) Газофазный реактор с псевдооживленным слоем (сополимеризация)
Компания «NOVOLEN»	Novolen	Газофазный реактор с вертикальным размешивающим слоем
Компания «DOW»	Unipol	Реактор со слоем псевдооживления газовой фазы
Компания «Sumitomo Chemical»	Sumitomo	Со слоем псевдооживления газовой фазы
Компания «JPP»	Horizone	Горизонтальный реактор с поршневым потоком

### 1.7 Технология полимеризации в комбинированной жидкой и газовой фазе

Технология полимеризации в комбинированной жидкой и газовой фазе проводят в одном (или более) реакторе, где циркулирует жидкий пропилен, при температуре 65 - 70 °С и давлении 3,5 – 4,0 МПа.

Комбинированная технология по комбинированию жидкофазного и газовой фазы развита на основе технологии по жидкофазному методу. Самая распространенная технология комбинированной технологии жидкой и газовой фазы — технология Spheripol, для реакции предварительной полимеризации и реакции гомополимеризации которой применяется жидкофазный реактор с кольцевой трубой, а для реакции сополимеризации применяется реактор со слоем псевдооживления газовой фазы. Другие распространенные технологии по комбинированию жидкофазного и газовой фазы: технология Nurol-II и технология (Borealis) Vorstar.

Наименование основных патентовладельцев и технологий жидкофазного ноуменального-газофазного метода (в том числе жидкофазного ноуменального метода) и типы полимеризационных реакторов подробно представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Патентовладельцы технологий комбинированной жидко-газофазного полимеризации

Патентовладелец	Технология процесса	Тип реактора полимеризации	
		Гомополимеризационный реактор	Ударостойкий сополимеризационный реактор
Компания Basell	Spheripol	Петлевой реактор	Со слоем псевдооживления газовой фазы
Компания Borealis	Borstar	Петлевой реактор	Со слоем псевдооживления газовой фазы
Компания «Mitsui Chemicals Inc»	Hypol	Кубовой реактор / Петлевой	Со слоем псевдооживления газовой фазы
Компания «China Hebei Yingke Petrochemical Engineering Co., Ltd.»	SPG	Полимеризационный пульпокуб + горизонтальный газофазный размешивающий куб	Полимеризационный пульпокуб + горизонтальный газофазный размешивающий куб

### 1.8 Сравнение технологий производства полипропилена

Сравнение технологии производства полипропилена по непрерывному методу SPG, газофазному методу Novolen и жидкофазному методу Spheripol заключается в сравнении условий реакции, реактора, переработки сырья, катализатора, продукта и периода строения каждой технологии, и результат сравнения технологии подробно представлен в таблице 4.

Таблица 4 – Сравнение технологий производства по методам SPG, Novolen, Spheripol

№ пп	Показатель сравнения	Наименование технологии		
		Непрерывный метод SPG (исключая гранулирование и смешивание)	Газофазный метод Novolen	Жидкофазный метод Spheripol
1	Источник технологии	Компания «China Hebei Yingke Petrochemical Engineering Co., Ltd.»	Компания «Novolen»	Компания «Basell»
2	Мощность установки, тыс. т/год	80	80	80
3	Полимеризация			
3.1	Предварительная полимеризация	Есть	Нет	Есть

Продолжение таблицы 4

№ пп	Показатель сравнения	Наименование технологии		
		Непрерывный метод SPG (исключая гранулирование и смешивание)	Газофазный метод Novolen	Жидкофазный метод Spheripol
3.2	Давление реакции, МПа	2,8~3,6	2,8~3,0	3,4~4,5
3.3	Температура реакции, °С	70~80	75~80	70~75
3.4	Время выдержки, ч.	<1,5	1,0	1,5~2
3.5	Коэффициент конверсии за один проход пропилена, %	70~75	70~80	55~65
3.6	Способ теплоотдачи реактора	Испарение пропилена	Испарение пропилена	Водяное охлаждение рубашки
4	Реактор полимеризации			
4.1	Гомополимеризационный реактор	Полимеризационный куб + горизонтальный газофазный размешивающий куб	С газофазным вертикальным размешивающим кубом	Трубный реактор
4.2	Сополимеризационный реактор	Тот же реактор, что и в гомополимеризации	Требуются 2 газофазных вертикальных размешивающих куба	Вертикальный газофазный куб со слоем псевдоожижения
4.3	Количество реакторов	2	1	1
4.4	Материал	Углеродистая сталь	Углеродистая сталь	Углеродистая сталь
4.5	Объем, м <sup>3</sup>	25 + 37	50	~150
5	Переработка сырья			
5.1	Обезвоживание	Есть	Есть	Есть
5.2	Удаление карбонильной серы	Есть	Есть	Есть
5.3	Удаление СО	Есть	Есть	Есть
6	Катализатор			
6.1	Основной катализатор	Ti/Mg	Ti/Mg	Ti/Mg
6.2	Сокатализатор	Триэтилалюминий Донор электронов (силановый)	Триэтилалюминий Донор электронов (силановый)	Триэтилалюминий Донор электронов (силановый)
6.3	Активность катализатора, г ПП/г катализатора	21000~36000	20000~32000	32000~40000

Продолжение таблицы 4

№ пп	Показатель сравнения	Наименование технологии		
		Непрерывный метод SPG (исключая гранулирование и смешивание)	Газофазный метод Novolen	Жидкофазный метод Spheripol
7	Продукт			
7.1	Вид продукта	Гомополимеризация, статистическая сополимеризация	Гомополимеризация, статистическая сополимеризация, ударостойкая сополимеризация	Гомополимеризация, статистическая сополимеризация, ударостойкая сополимеризация
7.2	Назначение продукта	Пленка BOPP, литье под давлением, щелкопрядение, нанесение	Пленка BOPP, литье под давлением, щелкопрядение, волокно	Двугорбая марка, литье под давлением с высокой жесткостью, сверхвысокий продукт MFR, тройный сополимер
7.3	Качество продукта			
7.3.1	Показатель течения расплава (MFR), г/10 мин. (порошковый материал)	0,2~70	3,2~56	0,25~110 0,1~20
7.3.2	Изотактичность гомополимеризационного продукта, %	94,5~98	93~98	95~98
7.3.3	Состояние продукта	Белый порошок	Белый порошок	Белое зерно
7.3.4	Содержание пыли, ppm	<200	≤150	≤150
8	Прижимное образование зерна	Нет (можно укомплектовать)	Нет (можно укомплектовать)	Есть
9	Смешивание в отсеке материала	Нет (можно укомплектовать)	Есть	Есть
10	Заложение упаковки	Есть	Есть	Есть
12	Штатный состав	44	25	44
13	Период строительства, г.	3	3	3

На основе сравнения трех технологий можно сделать следующий вывод:

С точки зрения условий полимеризации из трех технологий газофазный метод Novolen самый оптимальный. Температура реакции полимеризации по трем технологиям 70~80°C, давление реакции полимеризации по газофазному

методу Novolen ниже, чем непрерывный метод SPG и жидкофазный метод Spheripol.

Время выдержки полимеризации по жидкофазному методу Spheripol больше, чем непрерывный метод SPG на порядок 0,5 ч., а время выдержки по непрерывному методу SPG больше, чем газофазный метод Novolen на 0,5 ч. Время выдержки по газофазному методу Novolen самое короткое.

Коэффициент конверсии по газофазному методу Novolen выше, чем непрерывный метод SPG и жидкофазный ноуменальный метод Spheripol, так же коэффициент конверсии полимеризации по газофазному методу Novolen самый высокий.

В связи с ограничением сырья на данном проекте можно производить только гомополимер, по прерывному методу SPG с двумя кубовыми реакторами, по жидкофазному ноуменальному методу Spheripol требуется всего один трубный реактор, по газофазному методу Novolen также один кубовой реактор. Основываясь на сравнения трех технологий по количеству, норме и сложности реактора газофазный метод Novolen имеет следующую характеристику: реактор имеет малый объем и малое количество, и изготовление его будет проще.

По всем трем технологиям применяется одинаковая система катализатора, и имеется почти одинаковое требование к чистоте сырья, технологический процесс переработки сырья почти одинаковый.

По трем технологиям применяется одинаковый вид катализатора, катализатор по жидкофазному ноуменальному методу Spheripol имеет самую высокую активность, активность катализатора по непрерывному методу SPG ниже, чем жидкофазный ноуменальный метод Spheripol, а активность катализатора по газофазному методу Novolen самая низкая. С точки зрения активности катализатора из трех технологий жидкофазный ноуменальный метод Spheripol оптимальный.

На основе сравнения трех технологий все три технологии позволяют производство целевого продукта данного проекта — гомополимеризационного полипропилена.

Все продукты, произведенные на установке по жидкофазному ноуменальному методу Spheripol являются зернистым сырьем, а продукты, произведенные по газофазному методу Novolen и непрерывному методу SPG, являются порошковым материалом.

В соответствии с работой установки по методу SPG в настоящее время в связи со специальной структурой реактора с кольцевой трубой произведенный порошковый материал имеет показатель расплавления не более 20 г/10 мин.

Технология по жидкофазному ноуменальному методу Spheripol компании Basell предназначена для производства зернистого продукта, и не существует установки компании Basell по производству порошкового продукта.

С точки зрения качества продукта из трех технологий жидкофазный ноуменальный метод Spheripol не пригоден для производства порошкового продукта, продукт по газофазному методу Novolen имеет оптимальное качество, а непрерывный метод SPG, в связи с ограничением установки, применяющей

данную технологию, и невысокой известностью продукта, подвергается дальнейшему рассмотрению области применения продукта.

Результат сравнения расходного показателя технологии производства полипропилена по непрерывному методу SPG, газофазному методу Novolen и жидкофазному ноуменальному методу Spheripol подробно представлен в таблице 5.

Таблица 5 – Сравнение расходного показателя технологий

№ пп	Показатель сравнения	Наименование технологии		
		Непрерывный метод SPG (исключая гранулирование и смешивание)	Газофазный метод Novolen	Жидкофазный ноуменальный метод Spheripol
1	Расход сырья			
1.1	Типовое значение (гомополимеризация), кг/т ПП	1005	1001	1005
1.2	Водород, нормальный м <sup>3</sup> /т ПП	0,5~3	0,8~2.5	1~3
2	Расход катализатора			
2.1	Основной катализатор (Ti/Mg), кг/т ПП	0,05	0,032	0.035~0.045
2.2	Сокатализатор (триэтилалюминий), кг/т ПП	0,4	0,2	0,167~0,260
2.3	Донор электронов (силановый), кг/т ПП	0,05	0,016	0,03
3	Расход коммунальных услуг			
3.1	Охлаждающая вода, м <sup>3</sup> /т ПП	~100	~83	100~230
3.2	Электроэнергия, кВт/т ПП	~100	~129	100~310
3.3	Пар, кг/т ПП	~100	~55	192~700
3.4	Азот, нормальный м <sup>3</sup> /т ПП	50	~20	39~65
3.5	Приборный воздух, нормальный м <sup>3</sup> /т ПП	40	25	30~40

### 1.9 Выбор технологии производства полипропилена

Технология Novolen развивается в течение 50 лет с 1970-х годов, она является зрелой, безопасной и надежной. Компания «Novolen» используя технологию газофазного метода на сегодняшний день успешно разработала 47 производственных предприятий по всему миру с общей глобальной производственной мощностью 11,6 млн. тонн, которые могут производить 148 сортов продуктов, из которых 76 марок гомополимерной продукции соответствуют требованиям данного проекта установки порошкового полипропилена. Продукция имеет много марок, широкий спектр применений, высокую долю рынка и высокую популярность продукта.



Технология газофазного метода Novolen отличается от метода полимеризации в жидкой фазе Spheripol и непрерывного метода SPG, коротким технологическим процессом, легким технологическим контролем, Технология газофазного метода Novolen, использует только один реактор, тем самым сокращая сложность установки. В связи с этим технология Novolen является наиболее подходящей для данного проекта.

### 1.10 Требования к исходному пропилену

Полимеризацию газофазным методом Novolen проводят только с самым чистым пропиленом (>99,8%), который не должен содержать соединения серы, метилацетилена и воды. Для достижения такого значения пропилен должен пройти перегонку в нескольких колоннах, с последующей сушкой с помощью молекулярных сит. Ниже в таблице 6 приведены необходимые требования пропилену согласно ГОСТ 25043-2013 [5].

Таблица 6 – Показатели исходного пропилена высшего сорта, предназначенного для производства ПП, соответствующего ГОСТ 25043-2013.

№ пп	Наименование	Значение
1	Пропилен, % об.	не менее 99,8
2	Этилен, % об.	не более 0,005
3	Ацетилен и метилацетилен, % об.	не более 0,0005
4	Углеводороды C <sub>4</sub> , % об.	не более 0,002
5	Диеновые углеводороды (пропадиен и бутадиен), % об.	не более 0,001
6	Этан и пропан, % об.	не более 0,2
7	Концентрация серы, мг/м <sup>3</sup>	не более 1
8	Вода	
	а) в продукте, поставляемом по трубопроводу, % мас. б) в продукте, поставляемом в цистернах и баллонах, % мас.	не более 0,0005 не более 0,02
9	Свободной воды	Отсутствие

### 1.11 Нормы вспомогательных материалов

Нормы вспомогательных материалов, таких как водород, основной катализатор NHP4010, сокатализатор (триэтилалюминия (TEAL)), донор электронов (циклогексил-метил-диметоксисилан), изопропиловый спирт и белого масла необходимых для установки производства порошкового полипропилена, подробно представлены в таблицах 7 – 13.

Таблица 7 – Спецификация водорода

№ пп	Наименование	Значение
1	Состав	
1.1	Водород, % в об.	≥99,8
1.2	Азот, метан	Балансировочное значение
2	Примесь	
2.1	Кислород, ppm в об.	≤5
2.2	Монооксид углерода, ppm в об.	≤1
2.3	Диоксид углерода, ppm в об.	≤2
2.4	Вода, ppm в об.	≤10
2.5	Общая сера, ppm в мас.	≤1
3	Условия	
3.1	Температура, °С	Температура окружающей среды
3.2	Давление, МПа по манометру (MPaG)	3,8
3.3	Фаза	Газ

Таблица 8 – Спецификации основного катализатора NH4010

№ пп	Наименование	Значение
1	Состав	
1.1	Хлористый магний, % в мас.	45 – 75
1.2	Тетрахлорид титана, % в мас.	5 – 12
1.3	Диизобутилфталат, % в мас.	6 – 12
1.4	Гексан, % в мас.	2 – 10
2	Физико-химическая характеристика	
2.1	Форма	Порошок
2.2	Цвет	Коричневый
2.3	Запах	Раздражающий
2.4	Плотность, г/см <sup>3</sup>	2,2
2.5	Плотность заложения, кг/м <sup>3</sup>	0,6 – 0,8

Таблица 9 – Спецификации сокатализатора — триэтилалюминия (TEAl)

№ пп	Наименование	Значение
1	Состав	
1.1	Триэтилалюминий, % в мас.	96%
2	Физико-химическая характеристика	
2.1	Форма	Жидкостная фаза
2.2	Цвет	Бесцветный
2.3	Точка кипения (при атм. давлении), °С	186
2.4	Точка плавления, °С	-52
2.5	Давление пара (при 62°С), кПа	0,13
2.6	Плотность (при 25°С), кг/м <sup>3</sup>	835
2.7	Вязкость (при 25°С), мПа·с	2,6

Таблица 10 – Спецификации донора электронов (CAS)

№ пп	Наименование	Значение
1	Точка плавления, °С	< -72
2	Точка кипения, °С	196
3	Температура вспышки, °С	73,9
4	Плотность (при 25°С), г/см <sup>3</sup>	0,94

Таблица 11 – Спецификации изопропилового спирта

№ пп	Наименование	Значение
1	Форма	Жидкостная фаза
2	pH (при 20°С)	Нейтральное
3	Кинематическая вязкость (при 20°С), мПа·с	2,2
4	Точка плавления, °С	-89,5
5	Точка кипения (при атм. давлении), °С	84,2
6	Температура воспламенения, °С	425
7	Температура вспышки, °С	12
8	Предел разрыва, % в об.	2 – 13,4
9	Давление пара (при 20°С), кПа	4,3
10	Плотность (при 20°С), г/см <sup>3</sup>	0,786

Таблица 12 – Спецификации белого масла

№ пп	Наименование	Значение	Метод испытания
1	Показатель преломления (при 20°С)	1,472	
2	Кинематическая вязкость, мм <sup>2</sup> /с	70	DIN EN ISO 3104
3	Температура потери текучести, °С	< -9	ISO3016
4	Температура вспышки, °С	> 240	DIN ISO 2592
5	Температура разложения, °С	> 350	
6	Плотность, г/см <sup>3</sup>	0,867	DIN 51757

Таблица 13 – Норма коммунальных работ

№ пп	Наименование коммунальных работ	Значение
1	Циркуляционная охлаждающая вода	
	Давление подаваемой воды, МПа по манометру (МПаG)	0,45
	Давление обратной воды, МПа по манометру (МПаG)	0,25
	Температура подаваемой воды, °С	<28
	Температура обратной воды, °С	<40
2	Обессоленная вода	
	Давление подаваемой воды, МПа по манометру (МПаG)	0,6
	Температура, °С	Температура О.С.
	pH	8~9,5
	Электропроводность (25 °С), мкСм/см	≤0,3
3	Приборный воздух	
	Давление (подаваемого газа), МПа по манометру (МПаG)	0,6
	Температура (подаваемого газа), °С	Температура О.С.

Продолжение таблицы 13

№ пп	Наименование коммунальных работ	Значение
	Точка росы, °С	-50
4	Сжатый воздух	
	Давление (подаваемого газа), МПа по манометру (МПаG)	0,6
	Температура (подаваемого газа), °С	Температура О.С.
5	Азот	
5.1	Азот низкого давления	
	Чистота, %	99,99
	Давление, МПа по манометру (МПаG)	0,45
	Температура, °С	Температура О.С.
	Кислород, ppm в об.	≤10
	Монооксид углерода, ppm в об.	≤1
	Диоксид углерода, ppm в об.	≤1
	Вода, ppm в об.	≤5
	Точка росы, °С	-50
5.2	Азот высокого давления	
	Чистота, %	99,99
	Давление, МПа по манометру (МПаG)	4,0
	Температура, °С	Температура О.С.
	Кислород, ppm в об.	≤10
	Монооксид углерода, ppm в об.	≤1
	Диоксид углерода, ppm в об.	≤1
	Вода, ppm в об.	≤5
	Точка росы, °С	-50
6	Пар	
6.1	Пар высокого давления	
	Давление, МПа по манометру (МПаG)	1,3
	Температура, °С	Насыщения
6.2	Пар низкого давления	
	Давление, МПа по манометру (МПаG)	0,5
	Температура, °С	Насыщения
7	Электроэнергия	
	Напряжение, В	10000
	Число фаз	3
	Частота, Гц	50
8	Свежая вода	
	Давление, МПа по манометру (МПаG)	0,3
9	Природный газ (топливный газ)	
	Давление, МПа по манометру (МПаG)	0,8

## 2 Технологическая часть

### 2.1 Место расположение проекта

Предполагаемое место проекта запланировано разместить в Туркестанской области в городе Шымкент, в непосредственной близости нефтеперерабатывающего завода ТОО "ПетроКазахстан Ойл Продактс", основываясь на близости к складам сырья, наличия тепло, электро- и водоснабжения, транспортировки.

### 2.2 Блок схема и принципиальная схема получения полипропилена

Технологическая схема производства полипропилена в основном состоит из процесса переработки сырья, процесса полимеризации, процесса дегазации, процесса восстановления, процесса экструзии и гранулирования и хранения, процессов упаковки и отгрузки. Блок схема процесса этого процесса показана на рисунке 2.

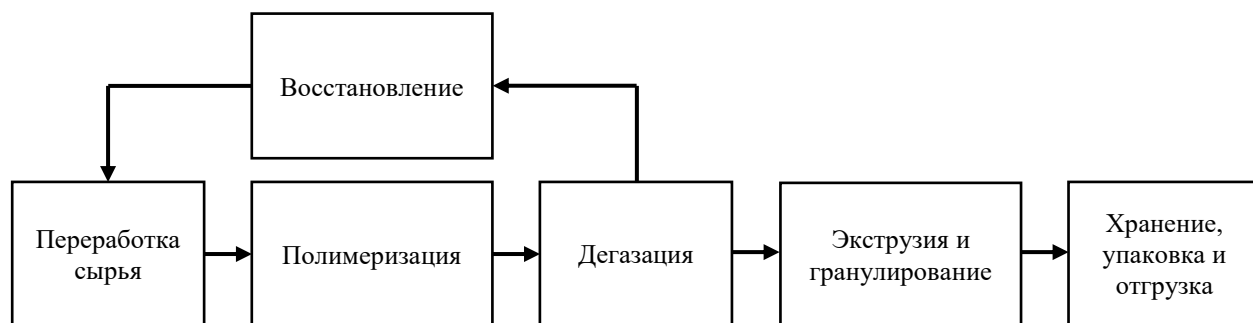


Рисунок 2 – Блок схема процесса производства полипропилена

Сырье, получаемое для производства ПП, проходит длинный путь от месторождения. Подробная схема подготовки сырья показана на рисунке 3.

Порошково-полипропиленовая установка включает в себя блок переработки пропилена, единицу очистки и сжатия азота, блок триэтилалюминия, блок изопропилового спирта, блок катализатора-донора электронов, блок подготовки и входа катализатора, блок полимеризации, блок обработки порошкового материала, блок сжатия газ-носителя порошкового, мембранный блок сбора, блок перевозки и хранения материала.

### 2.3 Блок переработки пропилена

Наряду с пропиленом, пропаном и т.д. в сырьевом смешанном углеводороде  $C_3$  от НПЗ ПКОП за пограничной зоной также содержатся вода, карбонил,  $CO_2$ ,  $CO$  и другие примеси, сырьевой смешанный углеводород  $C_3$  прежде всего входит в блок переработки пропилена для очистки пропилена от воды, карбонила,  $CO_2$ ,  $CO$  и других примесей, после чего входит в сепаратор разделения  $C_3$  и очищается от пропана и других примесей, потом входит в

рефлюксный резервуар сепаратора  $C_3$ , затем нагнетается и перекачивается насосом подачи пропилена в блок полимеризации.

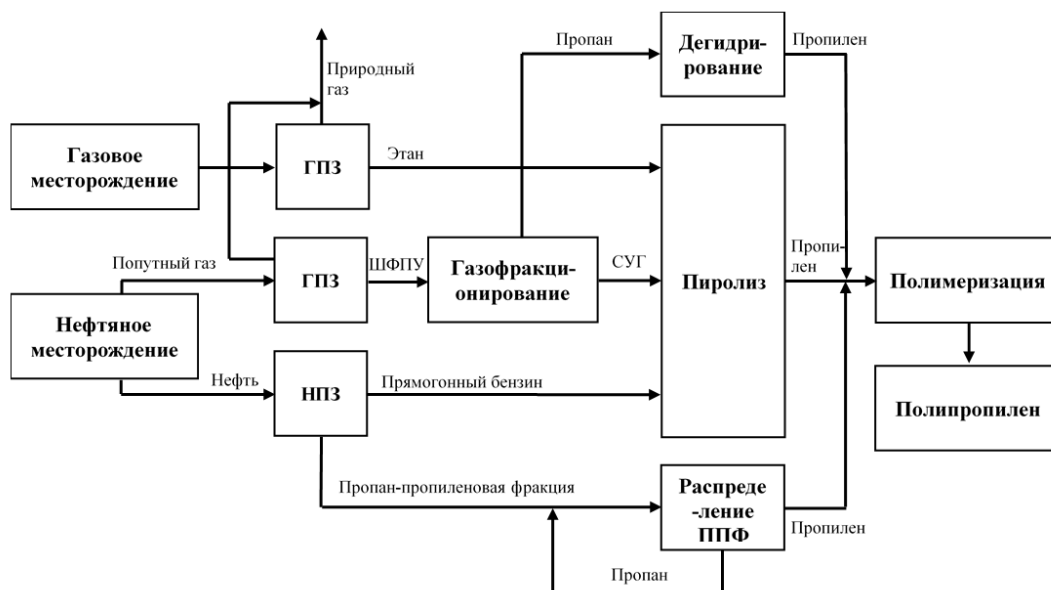


Рисунок 3 – Принципиальная схема получения полипропилена

Для переработки пропилена применяется метод адсорбции, в соответствии с содержанием примеси для системы переработки предусмотрены разные адсорбционные слои, и в соответствии с текущим составом сырья предусмотрены 3 группы абсорбционных слоев, каждый из которых имеет 2 оборудования, 1 из которых выполняет абсорбцию, другой выполняет регенерацию. Для обеспечения эффекта абсорбции на входе и выходе системы переработки установлен контрольный анализатор, предназначенный для проверки содержания примеси. Во время регенерации на рафинированном слое передать остаточный пропилен в факельную систему с использованием азота высокого давления.

В жидком сырьевом  $C_3$  от пограничной зоны содержится только 78.55% (mol) пропилена, который после разделения в сепараторе  $C_3$  достигает чистоты 99.5% (mol) и станет полимерным пропиленом.

#### 2.4 Блок триэтилалюминия

Триэтилалюминий является активатором полимерного катализатора (сокатализатор). Он имеет специальное отношение к свежему пропилену, входящему в куб-реактору. Покупной бочечный триэтилалюминий прессуется в резервуар с помощью азота. При замене бака триэтилалюминия резервуар предназначен для поддержки подачи триэтилалюминия. Подача материала в резервуар и его опорожнение управляются блокировкой уровня.

Замерный насос предназначен для подачи триэтилалюминия в полимеризационный куб-реактор по специальному отношению к объему свежего пропилена.

Чтобы предотвратить попадание влажного воздуха, опорожнение триэтилалюминия осуществляется путем спуска емкости ТЕА1 с герметизацией жидкости. Емкость спуска автоматически выбрасывает в специальную пожарную яму, в пожарной яме особого назначения любой выпускаемый триэтилалюминий может гореть в безопасных условиях.

Для очистки системы триэтилалюминия, белое масло в ёмкости отправляется в систему ТЕА1, путем насоса. Очищенное отработанное белое масло отправляется в резервуар, в нем установлена мешалка, на данном этапе применение изопропилового спирта заставляет триэтилалюминий содержащий в белом масле потерять активность.

Для избегания застывания белого масла при низкой температуре применяются оборудование и трубопровод, с попутным электронагревом, в которых содержится белое масло.

## **2.5 Блок изопропилового спирта**

Изопропиловый спирт применяется в следующих местах процесса:

- в резервуаре отработанного белого масла, и предназначен для дезактивации триэтилалюминия.
- в отсеке очистки, и предназначен для дезактивации триэтилалюминия (дезактивация порошка).

Покупной бочечный изопропиловый спирт передается в резервуар изопропилового спирта с помощью насоса, в резервуаре изопропиловый спирт фильтруется и потом циркулирует через циркуляционный насос и возвращается в резервуар изопропилового спирта. Чтобы триэтилалюминий потерял активность, необходимо вытащить 2 потока изопропилового спирта из циркуляционной линии, и отдельно отправить их в бункер очистки и в резервуар отработанного белого масла по определенному отношению. Изопропиловый спирт с перерывами вступит в резервуар отработанного белого масла после измерения расходомера.

## **2.6 Блок силана донора электронов**

Силан предназначен для изменения конструктивной характеристики катализатора. В течение нормальной работы установки подача силана и катализатора осуществляется в определенном соотношении. При запуске установки подача силана и общего пропилена осуществляется по определенному отношению.

Покупной бочечный силан передается в резервуар силана с помощью насоса, потом фильтруется, после чего циркулирует в резервуар силана с помощью циркуляционного насоса. Выводится из циркуляционного контура силан с определенным соотношением и подается в полимеризационный куб-реактор.

Для резервуара силана оснащена система подогрева пара, вся система подогрева является полностью теплоизоляционной, чтобы избежать возникновения вопроса об управлении расходов (перепад высокого давления), вызванного из-за увеличения вязкости материала при низкой температуре.

### **2.7 Блок подготовки и входа катализатора**

Порошковый катализатор подается из бака катализатора в куб подготовки катализатора, в нем порошковый катализатор смешивается с белым маслом с помощью мешалки. Бак катализатора взвешивается до и после разгрузки катализатора с целью расчета потребного объема катализатора, чтобы обеспечить концентрацию белого масла в катализаторе 10 % (мас.) (диапазон управления 8-15%).

Потом увеличением давление котла для подготовки катализатора и азотом низкого давления, катализатор и аппаратурная масса белого масла поступит в один из измерительных баков катализатора с помощью силы тяжести. Измерительный насос непрерывно закачивает новую жижу из катализаторов в реактор полимеризаций. Котел для приготовления катализатора оснащен смесителем, чтобы поддерживать катализатор в взвешенном состоянии. Пропилен протекает через расходомер в суспензию катализатора и в качестве промывочного носителя в полимеризационный реактор. В обычном случае оба насоса и обе линии питания работают одновременно. Однако, если одна линия подачи находится в эксплуатации, катализатор может поступать только в реактор через другую линию подачи.

Опорожнение отработанного газа из котла для подготовки катализатора и резервуара для измерения катализатора осуществляется в атмосферу через резервуар опорожнения катализатора, в целях предотвращения попадания примеси (в основном воздуха, кислорода и влаги) в резервуар опорожнения катализатора, на него применяют герметизацию белым маслом. Белое масло перед входом в куб подготовки катализатора надо осушить от влаги с помощью осушителя.

Перед разгрузкой бак катализатора надо вращать с помощью установки вращения бака с целью обеспечения хорошей текучести порошкового катализатора в баке.

### **2.8 Блок полимеризации**

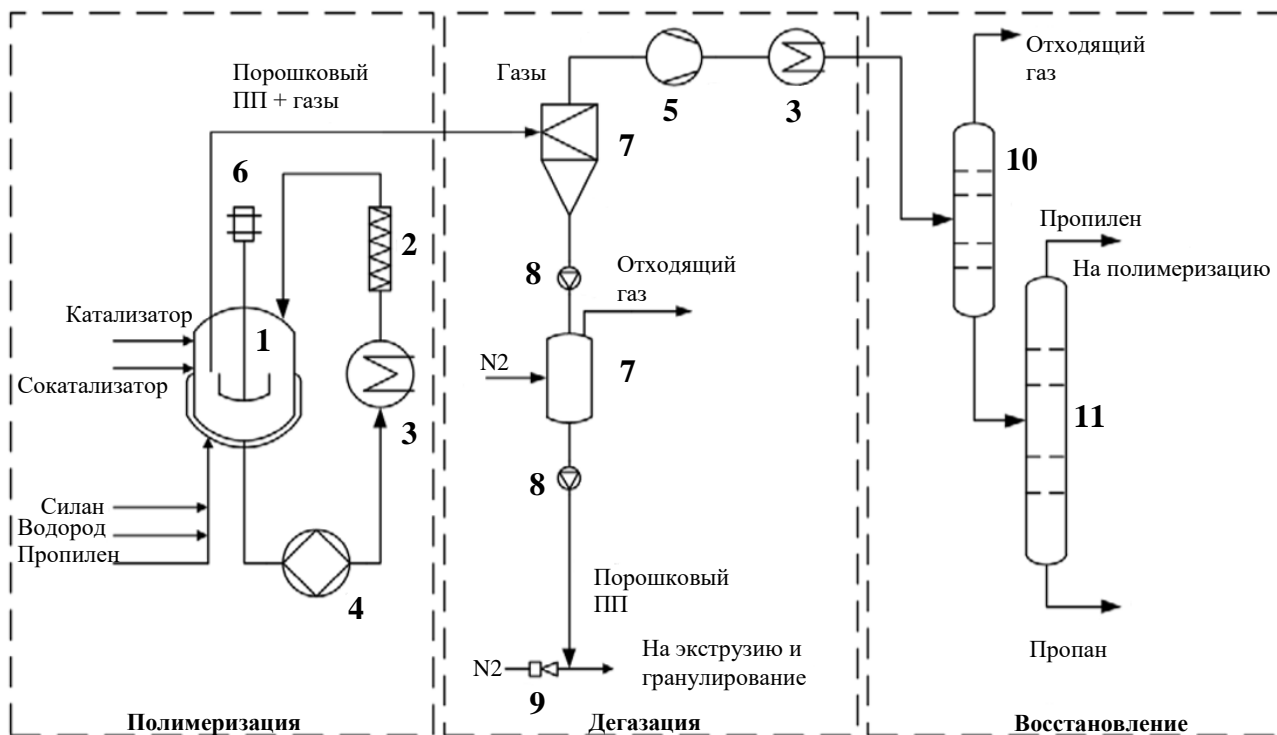
Для полипропиленовой установки производства гомополимера и статического сополимера установлен одиночный куб полимеризации, который приведен в рисунке 4.

Свежий пропилен фильтруется и потом охлаждается конденсатором, после чего вместе с необходимым катализатором, сокатализатором, водородом и силаном входит в куб полимеризации.



Циркуляционный газ-носитель от компрессора подается в верхнее течение конденсатора (по проекту максимум 60% рециркуляция газ-носителя).

Теплота, отданная реакции полимеризации при газифицировании и охлаждении сырьевого жидкого пропилена. Коэффициент превращения пропилена в полипропилен порядка 75%-85% входного свежего пропилена, но изменяется по форме полимера.



- 1) Реактор; 2) Фильтр; 3) Конденсатор; 4) Насос; 5) Компрессор; 6) Агитатор; 7) Приемник и продувочный бак; 8) Поворотный клапан; 9) воздуходувка; 10) Деэтанализатор; 11) Депропанализатор.

Рисунок 4 – Технологическая схема газофазного процесса Novolen производства полипропилена

Газ, непрерывно выпущенный из верхушки полимеризационного куб-реактора, обрабатывается в охлаждающем контуре. Прежде всего в циклонном сепараторе собранного газа разделяется от микроколичества порошкового полимера, потом в фильтре собранного газа пар еще раз разделяется от порошкового полимера путем фильтрации. Порошок, разделенный в циклонном сепараторе, непрерывно возвращается в полимеризационный куб-реактор с помощью инжектора. В качестве пропульсивного агента инжектора применяется жидкий пропилен. Собраный газ смешивается с циркуляционным газ-носителем, поступающим от компрессора. Газ-носитель в конденсаторе охлаждается охлаждающей водой.

Восстановленный газ смешивают со свежим пропиленом из фильтра на выходе из конденсатора. Рециркуляционная жидкость делится на две секции с

помощью насоса-восстановителя и направляется в верхнюю часть реактора (центральное сопло) для контроля температуры полимеризационного реактора. Отправляется в нижнюю часть реакционной камеры через кольцевую трубу и фланец серединной мешалки куб-реактора, и входит в куб-реактор по валу мешалки во избежание попадания порошкового полимера в уплотнитель мешалки.

Неконденсированный газ в конденсаторе поступает во входной буферный резервуар. Остаточный конденсационный состав в входном буферном резервуаре разделяется. Неконденсируемый газ сжимается компрессором циркуляционного газа, потом возвращается в реактор полимеризаций.

При остановке реактора полимеризации, реактор полимеризации будет немедленно изолироваться от питания пропилена и питания катализатора, одновременно необходимо снижать давление горючего выходной газ из-за снижения давления выброшенного в систему факела после разделения от порошка полипропилена путем циклонного сепаратора.

Под давлением пропилена, путем радарного контроля уровня жидкости порошковый полипропилен, образованный в реакторе полимеризации, прерывисто выбрасывается в циклонный сепаратор. В целях предотвращения осадки порошкового полипропилена на разгрузочном клапане продувочный газ из буферного резервуара, прерывисто продувает разгрузочный трубопровод. Газ, выброшенный вместе с порошком из куб-реактора, называется «газ-носителем».

DCS (система рассредоточенного управления) контролирует условия управления полимеризационным куб-реактором (автоматический режим). При необходимости DCS может остановить полимеризационный куб-реактор.

При работе самого полимеризационного куб-реактора надо обратить внимание на следующие три технологические переменные:

1 Давление реакции полимеризации. Управление давлением осуществляется путем регулировки входного свежего пропилена. Давление реакции полимеризации зависит от вида продукта полимеризации, для статического сополимера давление реакции полимеризации должно быть в пределах 2500-2800 кПа, для гомополимера давление реакции полимеризации составляет 3000 кПа.

2 Температура реакции полимеризации. Управление температурой реакции полимеризации осуществляется путем регулирования питания восстановленного пропилена. Температура реакции полимеризации зависит от вида продукта полимеризации, и рабочая температура соответственно в пределах 70-75°C для статического сополимера и 80°C для гомополимера.

3 Уровень в полимеризационном куб-реакторе. Управление уровнем осуществляется регулировкой выпуска порошково-полипропиленового продукта.

Продукт, образованный в полимеризационном куб-реакторе, входит в циклонный сепаратор. Мономер («газ-носитель») выпускается из верхушки циклонного сепаратора, а порошок спускается до дегазационного резервуара. Потом газ-носитель подается в циклонный сепаратор и фильтр для дальнейшего

разделения газ-носителя от порошка. С перерывами необходимо очищать фильтр путем импульсной инъекцией восстановленного газа из верхового фильтра. Газ-носитель, выпущенный из фильтра, подается в пакет сжатия. Разделенный порошок подается в отсек очистки с помощью вращающегося фидера дегазационного резервуара. Скорость подачи материала вращающегося фидера управляется уровнем материала в дегазационном резервуаре.

Остаточный мономер удаляется путем продувки чистым сухим азотом. Продувочный газ (азот и мономер) уходит от бункера очистки через фильтр, потом отправляется в мембранную единицу для восстановления пропилена и азота. Восстановленный азот вновь используется в качестве продувочного газа вместе со свежим азотом для очистки порошки в бункере очистки. Кроме того, обессоленная вода и изопропиловый спирт входят в бункер очистки через испаритель и статический смеситель, поступающий в очистительную камеру, чтобы устранять активность катализатора. При наличии остаточного триэтилалюминия в продувочном газе, поступающем в мембранную единицу, чтобы удалить активность TEAl, тогда можно применить метод паровой инъекции.

Очищенный порошок подается в отсек порошкового материала с помощью азота.

## **2.9 Блок сжатия газ-носителя**

Полимеризационная производственная линия оснащена одним трехступенчатым компрессором газ-носителя. Газ-носитель, поступающий от фильтра, прежде всего охлаждается в охладителе, потом фильтруется входным фильтром, затем сжимается в компрессоре. Сжатый газ-носитель может частично (максимум 60%) возвращаться в верхний охладитель циркуляционного газа. Газ-носитель также может применяться в качестве газа продувки разгрузочной трубы полимеризационного куб-реактора. Поэтому газ-носитель подается в буферный резервуар продувочного газа. Часть газ-носителя, полученная из второй ступени компрессора, применяется в качестве газового затвора между разгрузочным резервуаром и отсеком очистки. Большинство газ-носителя подается в сепаратор углеводородов C<sub>3</sub>.

## **2.10 Мембранная единица сбора**

Отработанный газ, поступающий от фильтра отсека очистки, подается в мембранную единицу сбора для сбора азота и мономера пропилена. Мембранная единица сбора состоит из входного фильтра, осушителя, компрессора, одного заднего охладителя, конденсатора, разделителя газа/жидкости и двух секций мембранного сепаратора.

Прежде всего мелкий порошок в очищенном газе разделяется на входе фильтра, и в осушителе устраняется влага из очищенного газа. Очищенный газ сжимается винтовым компрессором и потом конденсируется с помощью

конденсатора. Сжиженный углеводород и входной пропилен применяются в качестве охлаждающего средства и конденсируют мономерный пропилен в очищенном газе.

Использовать восстановленный мономер можно в качестве хладагента, мономер после нагрева отправляется в сепаратор углеводородов C<sub>3</sub> через всасывающую сторону компрессора газ-носителя.

Неконденсированный газ входит в первую секцию мембранного сепаратора, в том числе мономер собирается и обратно подается на всасывающую сторону компрессора. Во второй секции сепаратора остаточный мономер разделяется и в результате чего получается азот, выполняющий требование по качеству. Такие остаточные мономеры (отработанные газы) подаются на факел. Собранный азот рециркулирует в отсек очистки.

### **2.11 Перевозка и хранение порошкового материала**

Порошок ПП из бункера очистки перевозится через закрытую систему подачи азота в бункер порошкового материала, так и осуществляется процесс подачи, гомогенизации, разрыхления и передачи порошкового материала.

Гомогенизированный порошковый материал передается в отсек упаковки продукта для выполнения автоматической упаковки. Система подачи азота перевозит порошковый полипропилен из бункера порошкового материала в блок упаковки для упаковки и хранения порошкового материала.

### **2.12 Упаковка продукта**

Порошковый полипропилен перевозится в отсек упаковки порошкового материала через системы подачи газопорошково-полипропиленовой установки, и под действием тяжести порошковый материал спускается на полноавтоматическую линию упаковки и заложения, соответствующую каждому отсеку упаковки порошкового материала, для выполнения упаковки.

В участке упаковки склады готовой продукции порошкового ПП установлена линия упаковки и заложения, учитывая безопасность и стабильность работы и ремонт механического оборудования предусмотрена одна резервная линия упаковки.

### **2.13 Материальный баланс производства полипропилена**

Материальный баланс установки производства порошкового полипропилена в соответствии с маркой N, подробно представлен в таблице 14.

Таблица 14 – Материальный баланс установки

Наименование материала	Объем входного материала	Объем выходного материала
Пропилен, т/год	110 000	
Водород, т/год	5,810	
Основной катализатор NHP4010, т/год	2,619	
DONOR (циклогексил-метил-диметоксисилан), т/год	1,309	
Сокатализатор (триэтилалюминий), т/год	16,366	
Изопропиловый спирт, т/год	12,275	
Белое масло, т/год	37,642	
Выпуск порошкового ПП, т/год		81 808
Объем остаточного пропилена, т/год		28 184
Объем отходов (отработанный ПП, который может продаваться как отходы), т/год		48,021
Потерянный пропилен, т/год		16
Другие потери, т/год		20
Всего, т/год	110 076	110 076

Расход для установки производства порошкового полипропилена, номинал расхода, часовой расход и годовой расход сырья и коммунальных работ для установки производства порошкового полипропилена подробно представлен в таблице 15.

Таблица 15 - Расход для установки производства порошкового полипропилена

Наименование коммунальных работ	Номинал расхода	Часовой расход	Часовое пиковое значение	Годовой расход	Примечание
Пропилен, т	1.001	10.04	11.5	81808	
Водород, кг	0.071	0.71	2.25	5810	
Основной катализатор, кг	0.032	0.32	0.48	2619	
Триэтилалюминий, кг	0.2	2	2	16366	
Изопропиловый спирт, кг	0.15	1.50		12275	
Донор электронов, кг	0.016	0.16	0.75	1309	
Белое масло, кг	0.46	4.61		37642	
Пар 0.45МПаG, т	0.055	0.55	0.65	4499	
Циркуляционная охлаждающая вода, т	101.95	1021.5	1227.4	8335720	
Обессоленная вода, т	0.005	0.050		409	
Приборный воздух, Нм <sup>3</sup> /ч	25	250.61	500	2045000	
Сжатый воздух, Нм <sup>3</sup> /ч			180	54000	Прерывное использование
Азот, Нм <sup>3</sup> /ч	20	200.49	2000	2836000	
Электроэнергия, кВт	329	3293	3740	26872200	

### 3 Охрана окружающей среды и охрана труда

#### 3.1 Охрана окружающей среды

Сам полипропилен не выделяет токсических веществ в атмосферу и не влияет на организм человека. Однако при производстве полипропилена следующие экологические факторы следует учитывать:

- 1 влияние сокатализатора;
- 2 выбросы в атмосферу;
- 3 выбросы в сточные воды;
- 4 отходы.

Сокатализатор триэтилалюминия - это летучая бесцветная жидкость обладает высокой пирофорностью и мгновенно воспламеняется при контакте с воздухом. Обычно его хранят в контейнерах из нержавеющей стали в виде чистой жидкости или в виде раствора в углеводородных растворителях, таких как гексан, гептан или толуол. Пары триэтилалюминия токсичны, при контакте с кожей вызывает ожоги.

При производстве полипропилена в атмосферу выделяются летучие органические соединения, которые появляются в процессе сушки. Чтобы сократить выбросы в атмосферу следует воспользоваться следующими мерами:

- 1 азот необходимо отгонять паром или теплом;
- 2 необходимо провести постепенную дегазацию в экструдерах;
- 3 при сушке полипропилена нужно подготовить рециркуляцию отработанного воздуха.

Выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух по газофазной технологии представлены в таблице 16, а сбросы загрязняющих веществ по газофазной технологии в сточных водах до очистки представлены в таблице 17.

Таблица 16 – Состав выбросов загрязняющих веществ по газофазной технологии в атмосферу

Наименование	Показатели выбросов загрязняющих веществ, не более кг/т продукта
Пропилен	0,01
Диоксид азота	0,1
Оксид азот	0,09
Оксид углерода	1,0
Уксусная кислота	0,01
Взвешенные вещества (пыль ПП, аддитивы)	0,09

При производстве ПП вода используется для противопожарных, хозяйственно-бытовых и технологических нужд. Она не взаимодействует с вредными веществами, но все-таки может содержать малое количество взвешенных частиц. В связи с этим использованную воду направляют в систему обратного водоснабжения, предварительно необходимо провести очистку от механических примесей, путем процеживания через сетки для отделения

крупных частиц. Твердые отходы (отработанный ПП), может продаваться как отходы.

Таблица 17 – Состав сбросов загрязняющих веществ по газофазной технологии в сточных водах до очистки

Наименование	Масса загрязняющих веществ, не более кг/т продукта
Отходы масел (минеральных)	0,05
Уголь активированный отработанный	0,005
Цеолит отработанный	0,05
рН	8 – 10,5
Химическое потребление кислорода	0,08
Взвешенные вещества (пыль ПП, аддитивы)	0,034

Достоинствами данного метода, согласно изготовителю, являются:

- 1 малое количество углеводородов в реакторе, малые потери мономера в случае аварийной остановки;
- 2 не требуется система продувки;
- 3 нет проблем с остатками растворителя при переработке полипропилена;
- 4 очень малое количество сточных вод.

### 3.2 Охрана труда

В первую очередь для поддержания безопасности и оптимальных условий труда на предприятии необходимо проведение инструктажа по технике безопасности, пожарной и санитарной безопасности. Также необходимо установление контроля за соблюдением всех норм, требований сотрудниками производства.

Необходимо создание безопасных условий труда. Сотрудники предприятия обязаны при себе иметь средства индивидуальной защиты: комбинезон хлопчатобумажный, фартук прорезиненный, сапоги резиновые, перчатки резиновые, рукавицы комбинированные, колпак хлопчатобумажный, респиратор и защитные очки.

Для обеспечения безопасного ведения технологического процесса во время дежурства персонал должен следить за исправностью реактора и всего оборудования цеха. Также необходимо проверяется исправность приборов КИП и А, предохранительных клапанов в соответствии с требованиями «Инструкции по обслуживанию приборов КИПиА на объектах завода технологическим персоналом»,

Наибольшую опасность на производственном цехе для здоровья и безопасности персонала представляет нарушение технологической безопасности, пожары и взрывы, химически опасные факторы такие как работа с катализатором.

#### 4 Экономическая часть

Экономические оценки были выполнены, на основании данных из технических описаний существующих типов оборудования в областях полимеризации, дегазации и восстановления полипропиленовой установки. Балансы энергии и массы, были использованы для определения размера оборудования. Стоимость сырья, продукции и коммунальных услуг приведена в таблице 18 и таблице 19.

Таблица 18 – Цены на сырье и продукты

Наименование	Цена (тг/кг)
Пропилен (99%)	584
Водород	146
Катализатор NH4010	250 020
Триэтилалюминия (TEAl)	4584
Донор электронов (циклогексил-метил-диметоксисилан)	25 002
Изопропиловый спирт	545
Белое масло	505
Порошковый полипропилен	890

Таблица 19 - Стоимость коммунальных услуг

Наименование	Стоимость
Пар низкого давления, тг/кг	0,42
Азот, тг/м <sup>3</sup>	50,00
Охлаждающая вода, тг/кг	87,00
Электроэнергия, тг/кВтч	62,00

Балансы энергии и массы, приведенные в таблицах 14 и 15, были использованы для определения годовой стоимости сырья и коммунальных услуг. В таблице 20 приведены годовые расходы на сырье, коммунальные услуги, а также возможный доход от продажи продукта.

Таблица 20 – Годовые расходы и доходы проекта

Наименование	Количество	Сумма в тыс. тг
Расходы		
Пропилен (99%), тонн	110 000	64 240 000,00
Водород, тонн	5,81	848,26
Катализатор NH4010, тонн	2,62	654 802,38
Триэтилалюминия (TEAl), тонн	1,309	6 000,46
Донор электронов, тонн	16,366	409 182,73
Изопропиловый спирт, тонн	12,275	6 689,88
Белое масло, тонн	37,642	19 009,21
Пар низкого давления, тонн	4499	1 889,58
Охлаждающая вода, тонн	3409	296 583,00
Азот, м <sup>3</sup>	2 836 000	141 800,00
Электроэнергия, кВт	1 665 994 560	1 665 994,56
Доходы		



*Продолжение таблицы 20*

Наименование	Количество	Сумма в тыс. тг
Порошковый ПП, тонн	81808	72 809 120,00
Расчитываемая годовая прибыль		5 366 319,95

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Подготовлена технологическая часть проекта цеха по производству порошкового полипропилена газофазным методом, мощностью 110 000 тонн в год. Место расположения проекта в Туркестанской области в городе Шымкент, в непосредственной близости нефтеперерабатывающего завода ТОО "ПетроКазахстан Ойл Продактс".

Ассортиментом проекта является пять видов типовых продуктов, марки которых соответственно 1000N, 1102K, 1104K, 1105SC, 1148T. Обоснован выбор газофазного метода изготовления полипропилена. Подготовлена технологическая схема производства порошкового полипропилена. Произведен расчет материального баланса. Сделан чертеж реактора полимеризации.

При реализации данный проект положительно повлиял бы на экономику в регионе. Данный проект может стать третьим предприятием выпускающим полипропилен в Казахстане. Учитывая постоянно растущий спрос и ассортимент изделий, которые можно производить из полипропилена, разработанный проект в дальнейшем усовершенствовать, повысив мощность и ассортимент продукции.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 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.
- 2 Ровкина Н.М. Технологические расчеты в процессах синтеза полимеров: сборник примеров и задач / Министерство образования Российской Федерации, Ровкина Н.М, Ляпков А.А., Томский политехнический университет – Т: Издательство ТПУ, 2004. – 167с.
- 3 Бурая И.В. Основы технологии нефтехимического синтеза: учебно-методический комплекс для студентов дневной и заочной формы обучения по специальности 1-48 01 03 «Химическая технология природных энергоносителей и углеродных материалов» / Министерство Образования Республики Беларусь, Бурая И.В., Учреждение образования «Полоцкий государственный университет» - Н: ПГУ, 2012. – 188с.
- 4 Андреас Ф. Химия и технология пропилена / Андреас Ф., Греббе К. – Л: «Химия», 1973. – 368с.
- 5 ГОСТ 25043-2013. Пропилен. Технические условия. Принят Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 5 ноября 2013 г N 61-П): дата введения 2015-01-01. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200108167>.
- 6 ГОСТ 26996-86. Полипропилен и сополимеры пропилена. Технические условия (с Изменениями N 1, 2) введен в действие постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 23 сентября 1986 г. N 2749, Издание (март 2002 г.) с изменениями N 1, 2, утвержденными в декабре 1990 г., дата введения 1988-01-01. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-26996-86>. – Текст: электронный.
- 7 Бадрик Д.Л. Нефтехимия / Бадрик Д.Л., Леффлер У.Л. – М.: Издательство «Олимп-Бизнес», 2015. – 496с.
- 8 Polypropylene Production Capacity, Market and Price: сайт. – URL: <https://www.plasticsinsight.com/resin-intelligence/resin-prices/polypropylene>.
- 9 Polypropylene (PP) Market Size, Share & Industry Analysis, By Type (Homopolymer, Copolymer), By End User (Packaging, Automotive, Infrastructure & Construction, Consumer Goods/Lifestyle, and Regional Forecast 2019 – 2026: сайт. – URL: <https://www.fortunebusinessinsights.com/industry-reports/polypropylene-pp-market-101583> (дата обращения: 10.2019).
- 10 British Plastic Federation (BPF) Polypropylene (PP): сайт. – URL: <https://www.bpf.co.uk/plastipedia/polymers/pp.aspx>.

## Приложение А

Таблица А.1 - Характеристики типовых продуктов

Характеристика	Метод испытания	Значение				
		1000N	1102K	1104K	1105SC	1148T
Массовая скорость течения расплава, г/10 мин	ISO 1133	12	3,4	3,2	35	56
<b>Механическая характеристика</b>						
Модуль упругости при растяжении, МПа	ISO 527-2	1550	1500	1400	1450	1750
Напряжение текучности при растяжении, МПа	ISO 527-2	35	34	33	34	37
Коэффициент удлинения при разрыве, %	ISO 527-2	8	9	9	8	6.5
Коэффициент удлинения при растяжном разрыве, %	ISO 527-2	>50	>50	>50	>50	15
Модуль упругости при изгибе, МПа	ASTM D790	1600				1750
Ударная прочность свободнолежащей балки (при 23°C), кДж/м <sup>2</sup>	ISO 179/1eA	3	4	4	2.5	2
Твердость по Бринеллю, МПа	ISO 2039-1	78	74	72	70	
Плотность, г/см <sup>3</sup>	ISO 1183	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91
<b>Термическая характеристика</b>						
Точка плавления, °C	ISO 3146	163	163	161	163	163
<b>Температура термического изгиба</b>						
HDT/A (1.8МПа), °C	ISO 75-2	55	55	54	55	59
HDT/B (0.45МПа), °C	ISO 75-2	85	85	84	85	105
<b>Температура размягчения Вика</b>						
VST/A50(10N), °C	ISO 306	154	154	152	154	155
VST/B50(50N), °C	ISO 306	90	90	88	90	105
Назначение		Контейн еры, мебель, бытовые принадл жности,	Термиче ское формова ние, плоская проволо ка	Основно й слой в металлиз ируемой и общей пленке OPP	Фильберн ый нетканы й материал	Тонкост енная упаковка для молочны х продукт ов и десертов

## Приложение Б

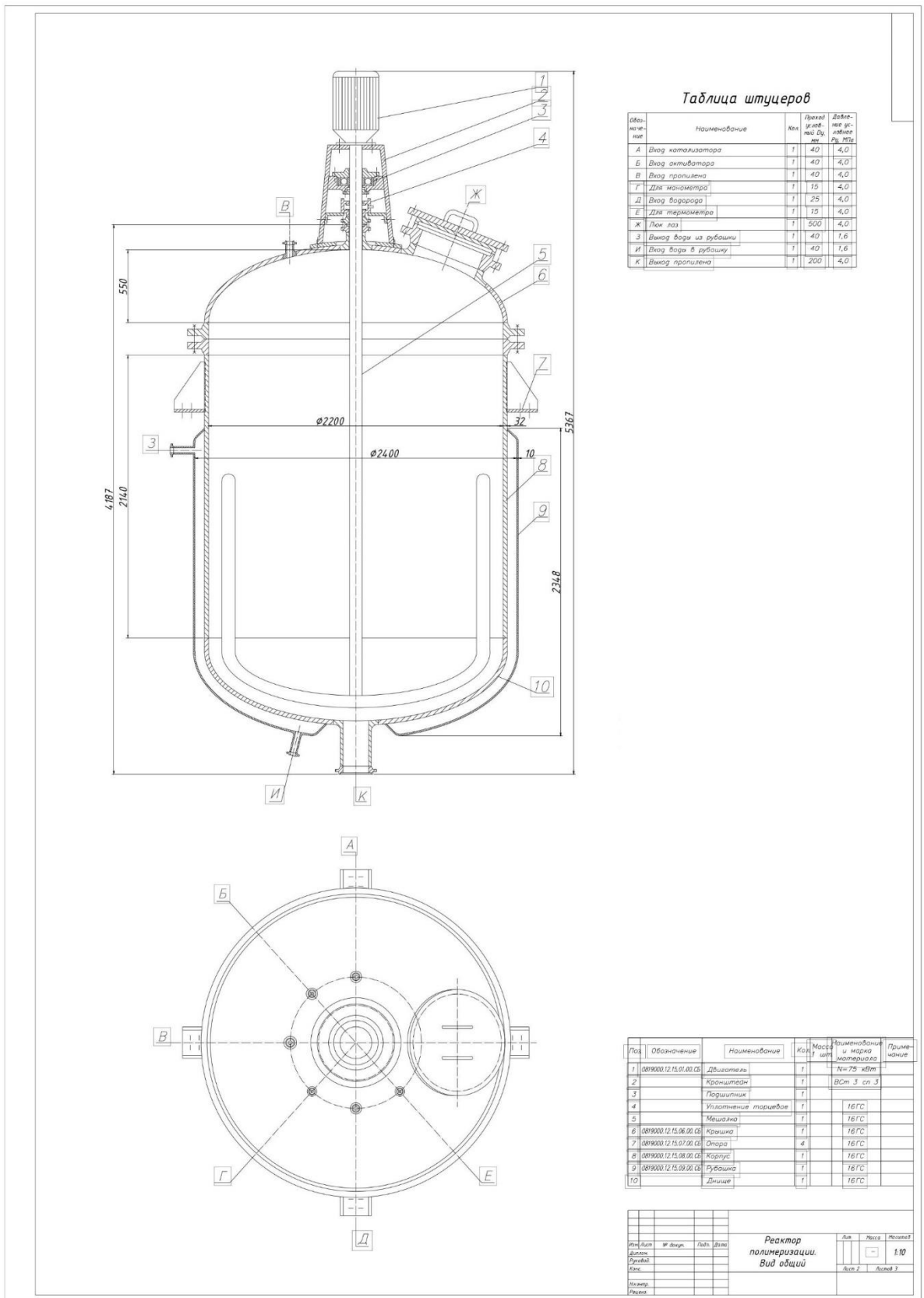


Рисунок Б.1 – Чертеж реактора полимеризации