

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

Институт компьютерных и инженерных наук  
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  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2024 г.

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

на тему: Анализ способов утилизации твердых отходов полимерных  
производств

Исполнитель  
студент группы 0107-об \_\_\_\_\_ М.А. Шамина  
(подпись, дата)

Руководитель  
доцент, канд. техн. наук \_\_\_\_\_ Г.Г. Охотникова  
(подпись, дата)

Консультант по безопасности  
жизнедеятельности  
доцент, канд. техн. наук \_\_\_\_\_ А.В. Козырь  
(подпись, дата)

Нормоконтроль  
проф., док. хим. наук \_\_\_\_\_ Т.А. Родина  
(подпись, дата)

Благовещенск 2024

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

Институт компьютерных и инженерных наук  
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 Шаминой Марьяны Алексеевны

1. Тема выпускной квалификационной работы: «Анализ способов утилизации твердых отходов полимерных производств» утверждена Приказом от 17.04.2024 г № 1016-уч

2. Срок сдачи студентом законченной работы 07.06.2024 г.

3. Исходные данные к выпускной квалификационной работе: Производительность установки – 1 050 т/год. Литературные данные. Техническая документация, нормативная и иная документация.

4. Содержание выпускной квалификационной работы (перечень подлежащих разработке вопросов): Литературный обзор по процессам производства полимеров. Анализ отходов процессов полимеризации и методов утилизации этих отходов. Обоснование схемы переработки твердых отходов процессов полимеризации, ее описание. Экономическое обоснование проекта. Анализ опасных производственных факторов и мер по обеспечению безопасности производства.

5. Перечень материалов приложения: Технологическая схема установки.

6. Консультанты по выпускной квалификационной работе Козырь А. В., канд. техн. наук, доцент; раздел «Безопасность и экологичность производства»

7. Дата выдачи задания 25.04.2024 г

Руководитель выпускной квалификационной работы: Охотникова Галина Генриховна, доцент, канд. техн. наук, доцент

Задание принял к исполнению 25.04.2024 г. \_\_\_\_\_

## РЕФЕРАТ

Бакалаврская работа содержит 63 с., 5 рисунков, 10 формул, 12 таблиц, 1 приложение, 30 источников.

### ТВЁРДЫЕ ОТХОДЫ, ПОЛИМЕРИЗАЦИЯ, ПОЛИМЕР, АНАЛИЗ, МЕТОДЫ УТИЛИЗАЦИИ, ЭКОЛОГИЯ, ВТОРИЧНАЯ ПЕРЕРАБОТКА

В работе рассматриваются методы переработки твердых отходов, полученных в результате процессов полимеризации. Стремительный рост производства и использования полимерных материалов в мире создает острую проблему утилизации полимерных отходов этих производств. Традиционные методы обработки, такие как механическая переработка и сжигание, сталкиваются с ограничениями и проблемами загрязнения окружающей среды.

Особое внимание уделяется вторичным методам переработки, включая рециклинг. Эти методы обещают эффективное использование полимерных отходов для производства товарных продуктов, снижая при этом негативное воздействие на окружающую среду.

					<i>ВКР.115238.180301.ПЗ</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>	<i>Шамина М.А.</i>				<i>Анализ способов утилизации твердых отходов полимерных производств</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Пров.</i>	<i>Охотникова Г.Г.</i>					<i>у</i>	<i>3</i>	<i>63</i>
<i>Н контр.</i>	<i>Родина Т.А.</i>					<i>АмГУ, ИКиИН гр. 0107-об</i>		
<i>Зав. каф.</i>	<i>Гужель Ю.А.</i>							

## СОДЕРЖАНИЕ

Определения, обозначения, сокращения	6
Введение	7
1 Литературный обзор	9
1.1 Российские компании по производству полимеров и их продукция	9
1.2 Физико-химические свойства сырья и продуктов полимеризации	11
1.2.1 Этилен	12
1.2.2 Пропилен	13
1.2.3 Полиэтилен	14
1.2.4 Полипропилен	18
1.3 Отходы процесса полимеризации	21
1.4 Основные методы утилизации твёрдых отходов процесса полимеризации	22
1.4.1 Захоронение на полигонах	24
1.4.2 Вторичная переработка	25
1.4.3 Сжигание пластмассовых отходов	26
2 Технологическая часть	30
2.1 Описание технологической схемы получения ПЭВП суспензионным методом	30
2.2 Классификация твёрдых отходов процесса полимеризации	35
2.3 Анализ и обоснование выбора метода утилизации твёрдых отходов	36
2.4 Сырьё для вторичной переработки	39
2.5 Описание технологической схемы вторичной переработки полимерных отходов	39
3 Экономическая часть	45
4 Безопасность и экологичность производства	50

					<i>ВКР.115238.180301.ПЗ</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Шамина М.А.</i>			<i>Анализ способов утилизации твёрдых отходов полимерных производств</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Пров.</i>		<i>Охотникова Г.Г.</i>				у	4	63
<i>Н контр.</i>		<i>Родина Т.А.</i>				<i>АмГУ, ИКиИН гр. 0107-об</i>		
<i>Зав. каф.</i>		<i>Гужель Ю.А.</i>						

4.1 Опасные производственные факторы	50
4.2 Меры по обеспечению безопасности производства	51
Заключение	53
Библиографический список	54
Приложение А	57

					<i>ВКР.115238.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		5

## ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ

ГХК – газохимический комплекс;

КО – класс опасности;

ЛПЭНП – линейный полиэтилен низкой плотности;

ПЭВД – полиэтилен высокого давления;

ПЭВП – полиэтилен высокой плотности;

ПЭНД – полиэтилен низкого давления;

ПЭНП – полиэтилен низкой плотности;

ПЭСД – полиэтилен среднего давления;

ПЭСП – полиэтилен средней плотности.

					<i>ВКР.115238.180301.ПЗ</i>					
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>						
<i>Разраб.</i>	<i>Шамина М.А.</i>				<i>Анализ способов утилизации твердых отходов полимерных производств</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>		
<i>Пров.</i>	<i>Охотникова Г.Г.</i>					у	6	63		
<i>Н контр.</i>	<i>Родина Т.А.</i>					<i>АмГУ, ИКиИН гр. 0107-об</i>				
<i>Зав. каф.</i>	<i>Гужель Ю.А.</i>									

## ВВЕДЕНИЕ

В современном мире переработка твердых отходов процессов полимеризации становится все более актуальной из-за нескольких ключевых причин:

1. Экологические проблемы. Необработанные твердые отходы могут создавать серьезные проблемы для окружающей среды, включая загрязнение почвы, воды и воздуха. Переработка пластиковых отходов из процессов полимеризации помогает снизить негативное воздействие на окружающую среду.

2. Экономическая выгода. Переработка твердых отходов полимеризации может принести экономическую пользу. Многие материалы, такие как пластик, могут быть повторно использованы или переработаны в новые продукты, что способствует сокращению расходов на сырье.

3. Сокращение потребления ресурсов. Переработка твердых отходов полимеризации способствует сокращению потребления природных ресурсов. Вместо добычи новых сырьевых материалов можно использовать вторичные ресурсы, что способствует устойчивому развитию.

4. Инновации и технологический прогресс. Развитие технологий переработки твердых отходов полимеризации способствует инновациям и развитию новых методов утилизации, что, в свою очередь, способствует развитию экономики и созданию новых рабочих мест.

Целью бакалаврской работы является проведение анализа действующих методов утилизации твердых отходов полимеризации, выявление наиболее выгодного метода.

Для достижения цели работы были поставлены следующие задачи:

- Изучить историю развития процессов переработки твердых отходов;
- Изучить действующие предприятия России, занимающиеся полимеризацией;

					<i>ВКР.115238.180301.ПЗ</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Шамина М.А.</i>			<i>Анализ способов утилизации твердых отходов полимерных производств</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Пров.</i>		<i>Охотникова Г.Г.</i>				<i>У</i>	<i>7</i>	<i>63</i>
<i>Н контр.</i>		<i>Родина Т.А.</i>				<i>АмГУ, ИКуИН гр. 0107-об</i>		
<i>Зав. каф.</i>		<i>Гужель Ю.А.</i>						

- Ознакомиться с сырьевой базой предприятий;
- Выбрать наиболее эффективный метод переработки и обосновать его выбор;
- Провести экономическое обоснование выбора метода утилизации твердых отходов.

					<i>ВКР.115238.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						8
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		

# 1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

## 1.1 Российские компании по производству полимеров и их продукция

По данным «Химпром» составлен рейтинг 15 крупнейших производителей базовых полимеров в России по итогам 2023 года, часть из которых указана в таблице 1.

Таблица 1 – Лидеры-производители полиэтилена в России по итогам 2023 года

Компания	Производство полиэтилена, тыс. т.			Выручка, млрд руб.	Изменение, %
	Этилен	ПЭНП	ПЭВП		
СИБУР «Томскнефтехим»	346	275,4	–	213,4	плюс 16,9
СИБУР «Казаньоргсинтез»	674	242	548	99,451	минус 13,8
Роснефть «Уфаоргсинтез»	268	236	–	22,7	минус 22,9
СИБУР «ЗапСибНефтехим»	1620	–	1518	122,1	плюс 7
Роснефть Ангарский завод полимеров	234	208	–	9,6	плюс 13
Газпром «Газпром нефтехим Салават (ГНС)»	158	118,9	44,5	26,2	минус 0,4
Лукойл «Ставролен»	375	–	327	51,7	минус 11,2

В тройку лидеров были включены следующие компании:

- по производству полиэтилена низкой плотности – «Томскнефтехим», «Казаньоргсинтез», «Уфаоргсинтез»;
- по производству полиэтилена высокой плотности – «ЗапСибНефтехим», «Казаньоргсинтез», «Ставролен»;
- по производству полипропилена – «ЗапСибНефтехим», «Нижнекамскнефтехим», «Уфаоргсинтез» [1].

					<i>ВКР.115238.180301.ПЗ</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>	<i>Шамина М.А.</i>				<i>Анализ способов утилизации твердых отходов полимерных производств</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Пров.</i>	<i>Охотникова Г.Г.</i>					<i>У</i>	<i>9</i>	<i>63</i>
<i>Н контр.</i>	<i>Родина Т.А.</i>					<i>АмГУ, ИКиИН гр. 0107-об</i>		
<i>Зав. каф.</i>	<i>Гужель Ю.А.</i>							

Как видно из данных, из семи лидирующих позиций три занимают компании СИБУР. СИБУР – ведущий производитель полимеров и каучуков в России. В данный момент в стадии реализации находится крупнейший по мощности проект СИБУР – Амурский газохимический комплекс, который с 2020 года строится на территории Амурской области в 15 км от города Свободного. Плановый срок ввода в эксплуатацию – 2027 год.

Комплекс – совместный проект китайской компании Sinorec и СИБУР, который будет являться одним из крупнейших в мире предприятий по производству полиэтилена и полипропилена, востребованных на российском и мировом рынках. Производственная мощность комплекса составит до 2,7 миллионов тонн готовой продукции в год. Данное предприятие является целевым в рассмотрении данной работы, т.к. является самым крупным проектом полимерных производств.

Планируемая продукция комплекса – полиэтилен (2,3 млн т в год) и полипропилен (0,4 млн т в год) различных товарных марок, которые востребованы в различных отраслях потребления: легкой промышленности, строительстве, сельском хозяйстве и т.д. [2].

Продукция, которая уже производится на действующих предприятиях СИБУР:

- Линейный полиэтилен низкой плотности;
- Полиэтилен высокой плотности (низкого давления);
- Полиэтилен низкой плотности (высокого давления);
- Гомополимер пропилена;
- Статистический сополимер пропилена с этиленом;

Некоторые товарные марки продукции и области их применения на примере предприятий ПАО «Казаньоргсинтез» и ПАО «Нижекамскнефтехим» представлены в таблице 2 [3].

Таблица 2 – Товарные марки полиэтилена и полипропилена

Наименование марки	Применение
1	2
Линейный полиэтилен низкой плотности	

1	2
LL30203 FE	<p>При изготовлении жестких пакетов, упаковки для заморозки пищевых продуктов, посуды для горячих блюд. Пленку используют для изготовления подгузников, упаковки товаров гигиены.</p> <p>Из ЛПЭНП делают прочные и стойкие отливки для механизмов, кабельную изоляцию и синтетическую пряжу.</p>
LL45372 RM	
mLL10183 FE	
LL45372 RM	
LL30203 FH	
<b>Полиэтилен высокой плотности</b>	
HD12500 LB	<p>ПВП применяется преимущественно для выпуска тары и упаковки.</p>
HD07580 SB	
HD13570 IM	
HD12503 FE	
<b>Полиэтилен низкой плотности</b>	
LD50210 EC	<p>ПНД используется для изготовления прочных конструкций таких, как водопроводные трубы, бочки, перекрытия, мебельная фурнитура, а также изделия легкой промышленности: пакеты-майки, бахилы, упаковочные материалы и др.</p>
LD04200 FE	
<b>Гомополимер пропилена</b>	
SIBEX PP H080 CF/5	<p>Производство электротехнического оборудования.</p> <p>Производство труб для перемещения разных рабочих сред (холодной и горячей воды, пищевых продуктов).</p>
PP H030 GP/5	<p>Используется для изготовления упаковочных плёнок, мешков, труб, а также деталей для различной аппаратуры. Широко применяется для изготовления одноразовой посуды.</p>
<b>Статистический сополимер пропилена с этиленом</b>	
SIBEX PP I062 CC/5	<p>Используется для производства упаковочной тары для пищевых продуктов, бутылок и других полых изделий. Производство изделий медицинского назначения.</p>
SIBEX PP I802 IM/5	
PP I120 GP/5	
SIBEX PP I013 CF/5	
SIBEX PP I013 EX/5	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

## 1.2 Физико-химические свойства сырья и продуктов полимеризации

Полимер – это вещество, состоящее из мономеров, которые соединены между собой химическими связями в длинные макромолекулы. Широко применяется в изготовлении различных бытовых предметов повседневного пользования и промышленных материалах для строительства и многих других отраслей. Основным сырьём для процесса полимеризации являются компоненты нефти и газа, извлекаемые из смеси в процессе переработки на газо- или нефтеперерабатывающем заводе [4].

### 1.2.1 Этилен

Сырьём для процесса полимеризации полиэтилена является этилен, который в основном получают пиролизом насыщенных низших углеводородов.

Этилен (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>) – самое производимое органическое соединение в мире, простейший алкен, горючий газ, не имеющий цвета, со слабым сладким запахом, легче воздуха. Плохо растворяется в воде, но хорошо растворяется в углеводородах и диэтиловом эфире.

Этилен получают в промышленности путем дегидрирования этана при высокой температуре:

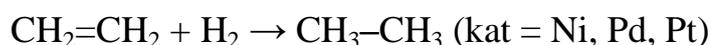


Пожаро- и взрывоопасен, относится к малоопасным веществам (IV КО). Применяется в химической промышленности для органического синтеза и в производстве полимеров [5].

Химические свойства этилена:

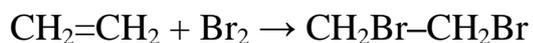
Этилен – химически активен за счёт наличия двойной связи, одна из которых менее прочная, легко разрывается, и по месту разрыва связи происходит присоединение, замещение, окисление, полимеризация молекул.

1) Каталитическое гидрирование этилена:



2) Галогенирование этилена:

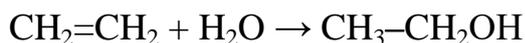
					<i>ВКР.115238.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						12
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		



3) Гидрогалогенирование этилена:



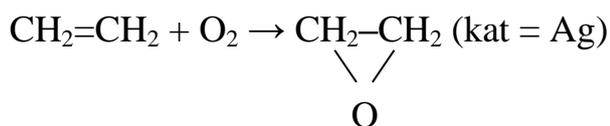
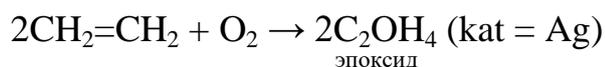
4) Гидратация этилена:



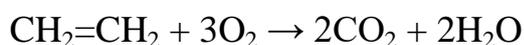
Реакция происходит в присутствии минеральных кислот (серной, фосфорной). В результате данной химической реакции образуется этанол.

5) Окисление этилена:

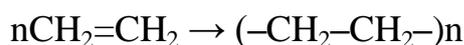
Этилен легко окисляется. В зависимости от условий проведения реакции окисления этилена могут быть получены различные вещества: многоатомные спирты, эпоксиды или альдегиды [6]. Например:



6) Горение этилена:



7) Полимеризация этилена:



### 1.2.2 Пропилен

Исходным сырьем для производства полипропилена является пропилен ( $\text{C}_3\text{H}_6$ ), который получают пиролизом и дегидрогенизацией пропана. Выделен-

					<i>ВКР.115238.180301.ПЗ</i>	Лист
						13
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

ная пропиленовая фракция, содержащая около 80 % пропилена, подвергается дополнительной ректификации, в результате которой получают пропилен 98 % – 99 %-ной концентрации [7].

Пропилен является непредельным углеводородом, горючий газ без цвета, со слабым неприятным запахом. Имеет низкие температуры плавления (около минус 187,6 °С) и кипения (около минус 47,7 °С). Его химические свойства аналогичны свойствам других алкенов, в том числе и этилена.

Помимо полипропилена, пропилен используется для производства окиси пропилена, нитрила акриловой кислоты, изопропилового и бутиловых спиртов, изопропилбензола, глицерина и других органических продуктов.

Для использования в промышленности пропилен выпускается с тремя степенями чистоты:

- нефтехимический пропилен (50 % – 70 % пропилена в пропане) – он используется в производстве сжиженного нефтяного газа как присадка для повышения октанового числа моторных топлив и в некоторых химических синтезах;

- химически чистый пропилен (без влаги, кислорода и примесей, отравляющих катализатор) – используют для промышленного синтеза некоторых продуктов;

- пропилен для полимеризации – содержит минимальные количества примесей, способных отравлять катализаторы полимеризации [8].

### 1.2.3 Полиэтилен

Самым распространенным и одним из первых синтетических полимеров является полиэтилен ((–C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>–)<sub>n</sub>) – карбоцепной полимер, простейший полиолефин. Макромолекулы его линейного строения с небольшими боковыми ответвлениями. Является твёрдым продуктом с белой окраской или бесцветным, активно применяется в производстве упаковочных материалов, труб и т.д.

Свойства полиэтилена: хорошие электроизоляционные свойства, сохраняющиеся в широком интервале частот, влагостойкость, инертность по отношению к агрессивным химическим средам, хорошие механические показатели.

					<i>ВКР.115238.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		14

Также полиэтилен обладает достаточной стойкостью к кислотам, щелочам и действию воды. При комнатной температуре на него не действуют кислоты (кроме 50 %-ой азотной кислоты), жидкий и газообразный фтор и хлор. Взаимодействие полиэтилена с галогенами применяется для переработки отходов полиэтилена. Также полиэтилен растворим в циклогексане и четыреххлористом углероде при 80 °С.

Существует 3 вида полиэтилена: полиэтилен высокой плотности (ПЭВП), полиэтилен низкой плотности (ПЭНП) и полиэтилен среднего давления (ПЭСП).

Свойства полиэтилена высокого и низкого давления приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Свойства полиэтилена низкого и высокого давления

Показатели	ПЭВП	ПЭНП
1	2	3
Количество разветвлений (групп СН <sub>3</sub> ) на 1000 углеродных атомов основной цепи	3 – 5	15 – 25
Количество разветвлений (групп С <sub>2</sub> Н <sub>5</sub> ) на 1000 углеродных атомов основной цепи	1	15
Количество связей С=С на 1000 углеродных атомов основной цепи	0,4 – 0,8	0,4 – 0,6
Степень кристалличности, %	до 90	до 60
Молекулярная масса	до 500000	до 300000
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	950 – 960	910 – 930
Температура плавления, °С	124 – 132	103 – 110
Интервал рабочих температур, °С	минус 70 – 75	минус 120 – 70
Водопоглощение за 30 суток при 20 °С, %	менее 0,1	0,02
Прочность при растяжении, МПа	18 – 45	10 – 17
Относительное удлинение при разрыве, %	до 800	до 1200
Диэлектрическая проницаемость при 1 МГц	2,2 – 2,4	2,2 – 2,3
Тангенс угла диэлектрических потерь при 1 МГц	(2...4)·10 <sup>-4</sup>	(2...4)·10 <sup>-4</sup>
Удельное объемное электрическое сопротивление, Ом·м	10 <sup>15</sup>	10 <sup>15</sup>
Удельное поверхностное сопротивление, Ом	10 <sup>14</sup>	10 <sup>14</sup>
Электрическая прочность (толщина образца 1 мм), МВ/м	45 – 55	45 – 55

### Полиэтилен высокой плотности

Полиэтилен низкого давления или высокой плотности – это второй по популярности после полиэтилентерефталата пластик на планете, занимающий около 40 % на рынке полимеров, с плотностью 0,94 г/см<sup>3</sup>, являющийся

кристаллическим гибкоцепным термопластичным полимером, изготавливаемым по технологии каталитической полимеризации суспензионным или газофазным методом. Обладает характеристикой линейных структур с короткими боковыми ответвлениями [9].

Продукт нашел достаточно широкое применение в промышленной индустрии, преимущественно за счет повышенной стойкости к маловязким жидкостям.

Физико-химические свойства полиэтилена высокой плотности указаны в таблице 4. ПЭВП обладает повышенной устойчивостью к отрицательным температурам (стеклование происходит при минус 50 °С) и слабым межмолекулярным взаимодействием (отсутствие полярных групп в цепи), поэтому он имеет склонность к изменению формы, т.е. при регулярных нагрузках размер материала с течением времени меняется.

Таблица 4 – Физико-химические свойства ПЭВД [10]

Свойство	Значение
Плотность, г/см <sup>3</sup>	0,94 – 0,96
Цвет	от прозрачного до белого
Запах	–
Плотность насыпания гранул, в г/см <sup>3</sup>	0,5 – 0,6
Проводимость тока	не проводит

Материал обладает устойчивостью к щелочам, маслам, продуктам, содержащим спирт. Неустойчив к воздействию азотной кислоты, серной кислоты, галогенов.

Класс горючести В1 – трудно возгораемые и В2 – нормально возгораемые. Самовоспламенение происходит приблизительно при 350 °С.

Фактически, в химическом составе материала только водород и углерод, поэтому по сути единственные выделяемые в процессе горения вещества это углекислый и угарный газ, вода и немного сажи. Пропорции газа зависят от температурных показателей, вентилируемости и доступа кислорода в процессе горения.

К преимуществам ПЭВД относятся [4]:

- высокая износостойкость;
- неподверженность коррозии;
- повышенная гибкость;
- стойкость к воздействию щелочей, кислот и радиации;
- устойчивость к температурным перепадам;
- высокие показатели ударной прочности;
- высокие диэлектрические свойства.

### **Полиэтилен низкой плотности**

Полиэтилен низкой плотности более мягкий, по сравнению с полиэтиленом высокой плотности полимер. Механические показатели у ПЭНП меньше, чем у ПЭВП из-за разной плотности. Полиэтилен высокого давления – термопластичный полимер этилена со сравнительно слабыми внутримолекулярными связями, за счёт чего он имеет более низкую плотность. Макромолекулы полиэтилена высокого давления (n1000) содержат большое количество боковых углеводородных цепей  $C_1 - C_4$ . Именно этим объясняется низкая плотность и кристалличность ПЭВД по сравнению с полиэтиленами низкого и среднего давления. Его физико-химические свойства представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Физико-химические свойства ПЭВД

Свойство	Значение
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	900 – 930
Температура хрупкости, °С	минус 45 – минус 120
Модуль упругости при растяжении, МПа	147 – 245
Температура длительной эксплуатации, °С	50

Гранулированный ПЭНП получают радикальной полимеризацией в присутствии кислорода при высокой температуре 100 °С – 300 °С и давлении от 1000 до 3000 атмосфер. Его использование является абсолютно безопасным как для окружающей среды, так и для человека, что позволяет использовать его в изготовлении детских товаров и упаковке для пищевых продуктов. Недостатком будет являть его точка размягчения, которая чуть ниже точки кипения воды, из-за чего предметы из ПЭНП не используются для контакта с кипящей водой или паром при стерилизации.

ПЭВД применяется в качестве изоляционного материала для подводных кабелей и радаров. Также используется в литье пластмасс под давлением, производстве выдувных изделий, термоклей в виде порошка и экструзии плёнок. Области использования в основном зависят от марки полимера, введенных в него добавок и способа стабилизации.

К преимуществам товаров из ПЭВД относятся [4]:

- устойчивость к механическим разрушениям от удара и разрыва и деформациям сжатия и растяжения;
- мягкость и гибкость;
- высокая прочность при низких температурах;
- глянцевая поверхность;
- устойчивость к воздействию солнечного излучения;
- нетоксичность.

### **Полиэтилен средней плотности**

ПЭСД получают полимеризацией этилена в растворителе в присутствии оксидов кобальта, молибдена, вольфрама при температуре 130 °С – 170 °С и давлении 3,5 – 4,0 МПа. Характеристики полиэтилена среднего давления схожи с характеристиками ПЭВД, т.к. это идентичные виды полиэтилена, которые не уступают друг другу. ПЭСД обладает хорошей устойчивостью к ударам и на излом, менее подвержен царапинам, более устойчив к растрескиванию, чем ПЭВД. Свойства ПЭСД представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Физико-химические свойства ПЭСД

Свойство	Значение
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	960 – 970
Температура плавления, °С	130 – 135
Температура размягчения, °С	80 – 100
Молекулярная масса промышленных марок, 10 <sup>-4</sup>	4 – 7
Модуль упругости при изгибе, МПа	1070 – 1100
Разрушающее напряжение при изгибе, МПа	25 – 40
Разрушающее напряжение при растяжении, МПа	25 – 38
Относительное удлинение, %	200 – 800
Удельная теплоемкость, кДж/(кг·К)	2,3 – 2,7

Полиэтилен среднего давления нашёл применение в производстве обычной и термоустойчивой плёнки, мешков, винтовых колпачков и хозяйственных сумок [9].

#### 1.2.4 Полипропилен

Ещё одним важнейшим для современной упаковочной промышленности полимером является полипропилен  $((-\text{C}_3\text{H}_6-)_n)$  – универсальный в применении пластик, обладающий отличными потребительскими качествами. Диэлектрические свойства у полипропилена не меняются в широком диапазоне температур и не ухудшаются под влиянием влажности. Он лёгок в обработке всеми распространенными способами и не требует нестандартного оборудования. Не токсичен и химически инертен, что позволяет использовать полипропилен в упаковке пищевых изделий и питьевой воды.

Существует три вида полипропилена, отличающихся между собой пространственной структурой, но имеющих одну и ту же формулу: изотактический полипропилен; синдиотактический полипропилен и атактический полипропилен. Их строение представлено на рисунке 1, радикалом R является  $\text{CH}_3$  [11].

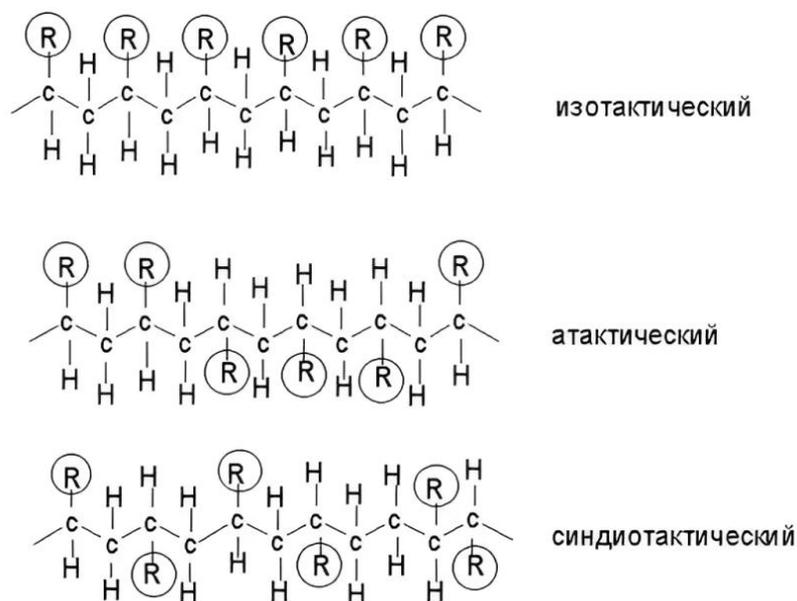


Рисунок 1 – Пространственная структура полимера

Атактический полипропилен напоминает каучук, применяется в резинотехническом производстве благодаря своей мягкости и гибкости, а так же в

					ВКР.115238.180301.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		19

производстве антикоррозионных покрытий. Для него характерна способность растворяться в сложных эфирах и высокая текучесть. Температура плавления равна 80 °С.

Изотактический полипропилен наиболее востребован, он характеризуется повышенной теплоемкостью, кристалличностью и прочностью, имеет низкую плотность. Химически стойкий с температурой плавления 165 °С.

Синдиотактический полипропилен не имеет промышленного интереса, т.к. обычно он получается случайно и имеет выраженную кристаллическую структуру [9].

Общие свойства полипропилена представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Свойства полипропилена

Показатели	Значение
Массовая доля, % изотактической фракции	95 – 98
Массовая доля, % атактической фракции	2 – 5
Плотность, г/см <sup>3</sup>	0,9 – 0,92
Температура плавления, °С	160 – 170
Температура стеклования, °С	минус 10 – минус 20
Влагопоглощение за 30 суток при 20 °С, %	0,03
Предел прочности при разрыве, кг/см <sup>2</sup>	260 – 400
Относительное удлинение при разрыве, %	200 – 700
Диэлектрическая проницаемость при 1 МГц	2,2
Тангенс угла диэлектрических потерь при 1 МГц	(3...5)·10 <sup>-4</sup>
Удельное объемное электрическое сопротивление, Ом·см	10 <sup>17</sup>
Удельное поверхностное сопротивление, Ом	10 <sup>16</sup>
Электрическая прочность (толщина образца 1 мм), кВ/мм	30 – 35

Преимущества полипропилена:

- водонепроницаемость;
- устойчивость к воздействию агрессивных сред;
- диэлектрические свойства;
- высокая химическая инертность;
- механическая прочность и устойчивость к деформациям;
- небольшой вес;
- коррозионная стойкость;

- высокая гигиеничность;
- непригодность для развития микроорганизмов;
- экологичность и безопасность для человека.

Полипропилен используется в производстве:

- упаковочных материалов – плёнок, контейнеров, бутылок, ящиков, ведер, резервуаров;
- потребительских товаров – элементов бытовой техники, мебели, приборов, игрушек и другой продукции;
- деталей для автомобилей, таких как корпуса, поддоны, бамперы, боковые молдинги, отделочные элементы салона и дверей, панели приборов;
- промышленной продукции – труб, ёмкостей;
- термостойких волокон;
- элементов электроприборов, среди которых корпуса телевизоров и телефонных аппаратов, выключатели и изоляционные оболочки;
- медицинского оборудования – пробирки, одноразовые шприцы, контейнеры для таблеток, ванночки.

Высокая химическая стойкость и гигиеничность материала позволяет его использовать для производства лабораторной и медицинской мебели. Она является более практичным вариантом, по сравнению с мебелью из керамики, ламинированной древесностружечной плиты, металла или композитного пластика. Такая мебель используется в лабораториях, работающих с агрессивными биологическими и химическими веществами, она не теряет своих свойств, при воздействии на нее сильных неорганических кислот – серной, фтороводородной, соляной и азотной [12].

### 1.3 Отходы процесса полимеризации

В процессе проведения любого технологического процесса образуются разные виды отходов: жидкие, твёрдые, газообразные. Во время проведения процесса полимеризации основную массу отходов составляют твердые и жидкие отходы.

К жидким отходам относятся различные отработанные масла: индустри-

					<i>ВКР.115238.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						21
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		

альные, компрессорные, синтетические, минеральные, полусинтетические и др., а так же вода с хромовым катализатором и жидкие углеводороды. Жидкие виды отходов образуются в сепараторах катализатора, масляных затворах, системах масел экструдера, в насосном и компрессорном оборудовании. Количество данного вида отходов на установке полимеризации АГХК составляет в среднем 1900 т в год.

Эти отходы после образования накапливают на полигоне для дальнейшего обезвреживания или утилизации (регенерации). Отходы жидких углеводородов подвергаются сжиганию на специализированных установках.

Вместе с жидкими отходами в процессе производства полимеров образуется порядка 1250 т в год различных видов твёрдых отходов. Твёрдые отходы в мире обычно разделяют на технологические отходы и бытовые отходы. Технологические отходы образуются во время проведения процесса, бытовые образуются в результате жизнедеятельности человека. Технологические отходы образуются в виде низкомолекулярных полимеров (гранулят), отработанных волокнистых полипропиленовых фильтров и отработанного адсорбента [13].

Несмотря на меньшее количество твёрдых отходов, по сравнению с жидкими, они представляют интерес для промышленности, за счёт своего разнообразия. Важность утилизации твёрдых отходов также обусловлена экологической безопасностью производства, т.к. известно, что большинство полимеров являются химически инертными и не подвергаются естественному разложению [14].

Перечень твёрдых технологических отходов установки полимеризации Амурского ГХК представлен в приложении А [15].

#### **1.4 Основные методы утилизации твёрдых отходов процесса полимеризации**

С возрастанием спроса на товары из полимерных материалов, возрастает и количество отходов, образующихся в процессе производства и потребления. Накапливающиеся отходы несут угрозу для окружающей среды и человека, поэтому растёт потребность в полной утилизации образующихся отходов с да-

					<i>ВКР.115238.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		22

льнейшим получением новых материалов или энергии, без серьёзного вреда для окружающей среды.

Основные направления технологий утилизации промышленных отходов:

1) Усовершенствование технологических процессов для сокращения образующихся отходов.

2) Рециклизация отходов.

3) Переработка отходов в высококачественные вещества и изделия.

4) Изменение свойств отходов, снижение их объема и токсичности для последующей переработки как ценнейших вторичных ресурсов для других предприятий в едином кластере [14].

Основными направлениями переработки твёрдых отходов в виде гранулята или полимерной пыли является их рециклинг внутри самого производства и получение полимеров с теми же характеристиками, что и целевые продукты процесса. Вторым направлением является передача отходов в виде отработанной тары и упаковки из полиэтилена на установки вторичной переработки в качестве сырья для производства продукции или использования в качестве добавок.

Эти методы являются наиболее безопасными для окружающей среды, они перспективны, т.к. позволяют в полной мере использовать ресурсы в виде исчерпаемых источников энергии.

Существуют более быстрые и дешевые методы утилизации отходов, которые оказывают больший вред для окружающей среды, но не перестают существовать на практике.

Функционально промышленные отходы подразделяют на три основные группы:

1) отходы, которые складировются на свалках, сжигаются на открытых площадках, захораниваются, сбрасываются в водоемы, загрязняя тем самым окружающую среду;

2) отходы, используемые в народном хозяйстве;

3) отходы, которые применяются на самих предприятиях для получения

					<i>ВКР.115238.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		23

товарной продукции.

Основным методом утилизации твёрдых отходов в виде отработанных адсорбентов, катализаторов, фильтрующих материалов из системы транспортировки катализатора или фарфоровых шаров из адсорбера является накопление их на полигоне временного содержания с дальнейшим их обезвреживанием.

Металлические бочки, как и прочие металлические предметы, направляются специализированным организациям, как металлолом для переплавки и извлечения полезных компонентов.

#### 1.4.1 Захоронение на полигонах

Полигоны являются природоохранными сооружениями и предназначены для централизованного сбора, обезвреживания и захоронения промышленных отходов. В состав полигона входят участок захоронения отходов, завод по обезвреживанию отходов и гараж специализированного транспорта. Участок захоронения отходов представляет собой территорию, предназначенную для размещения твердых отходов в специально оборудованных котлованах [14].

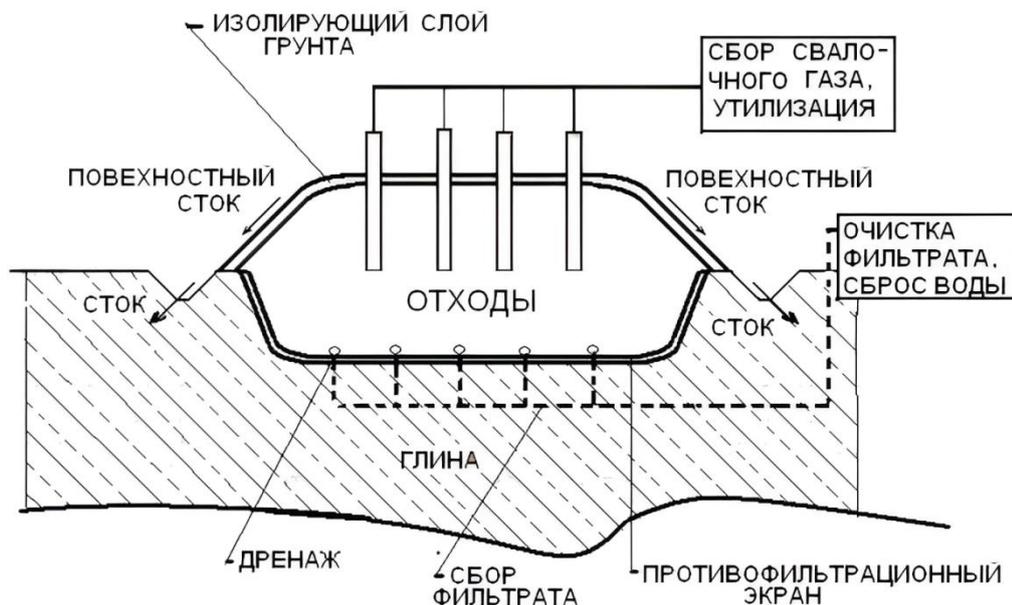


Рисунок 2 – Схема полигона для захоронения твёрдых отходов

Изначально целью создания полигонов для захоронения было предотвращение попадания вредных токсинов в природу, но со временем были обнаружены ещё несколько плюсов метода:

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

1) Простота создания. Требуется только участок земли, удаленный от населенных пунктов;

2) Минимальное обслуживание. Требуется только сбор и размещение на специализированной территории;

3) Экономия времени.

Проблемы захоронения отходов на полигонах связаны с потенциальной опасностью для грунтовых вод, почвы и атмосферы. Под действием солнечных лучей и нагрева пластмассы распадаются, выделяя в грунт и грунтовые воды токсичные и канцерогенные вещества. Впоследствии при потреблении загрязненной воды такие вещества накапливаются в организме человека. Помимо этого увеличение объёмов производства неизбежно увеличивает количество отходов, которые создают территориальную проблему из-за увеличения площадей полигонов.

Экономическая невыгодность захоронений твёрдых отходов связана с тем, что это не позволяет повторно использовать отходы как вторичное сырьё, что повышает стоимость производства многих товаров [16].

#### 1.4.2 Вторичная переработка

Для превращения полимерных отходов в сырьё, пригодное для последующей переработки в изделия, необходима его предварительная обработка. Выбор способа предварительной обработки зависит в основном от источника образования отходов и степени их загрязнённости. Так, однородные отходы производства гранулята обычно перерабатывают на месте их образования, они отправляются на рецикл – измельчение и грануляцию (крупные агломераты) или только грануляцию (полимерная пыль).

Отходы в виде вышедших из употребления изделий требуют более основательной подготовки. Предварительная обработка отходов полиэтиленовой плёнки, мешков, тары и отходов из других компактных источников включает следующие этапы: сортировка (грубая) и идентификация (для смешанных отходов), измельчение, разделение смешанных отходов, мойка, сушка. После этого материал подвергают грануляции.

					<i>ВКР.115238.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		25

Предварительная сортировка предусматривает грубое разделение отходов по различным признакам: цвету, габаритам, форме и по видам пластмасс. Предварительную сортировку производят, как правило, вручную на столах или ленточных конвейерах; при сортировке одновременно удаляют из отходов различные посторонние предметы и включения.

Разделение смешанных отходов по видам проводят следующими основными способами: флотационным, разделением в тяжёлых средах, аэросепарацией, электросепарацией, химическими методами и методами глубокого охлаждения. Наибольшее распространение получил метод флотации, который позволяет разделять смеси таких промышленных термопластов, как полиэтилен, полипропилен, полистирол и поливинилхлорид. Разделение пластмасс производится при добавлении в воду поверхностно-активных веществ, которые избирательно изменяют их гидрофильные свойства.

В некоторых случаях эффективным способом разделения полимеров может оказаться растворение их в общем растворителе или в смеси растворителей.

Методы флотации и разделения в тяжёлых средах являются наиболее эффективными и экономически целесообразными из всех перечисленных выше.

Вышедшие из употребления отходы с содержанием посторонних примесей не более 5 % со склада сырья поступают на узел сортировки отходов, в процессе которой из них удаляют случайные инородные включения и выбрасывают сильно загрязнённые куски. Отходы, прошедшие сортировку, измельчают в ножевых дробилках мокрого или сухого измельчения до получения рыхлой массы с размером частиц 2 – 9 мм.

Далее полученные частицы отправляются в моечную машину, где промываются водой и далее сушатся сначала в центрифуге, а затем в сушильной установке под действие тепла, после чего отправляются на конечную станцию грануляции [14].

					<i>ВКР.115238.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						26
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		

### 1.4.3 Сжигание пластмассовых отходов

Ещё одним не самым экологичным, но представляющим интерес для энергетической отрасли методом, является сжигание отходов. Схема установки по сжиганию представлена на рисунке 3 [17].

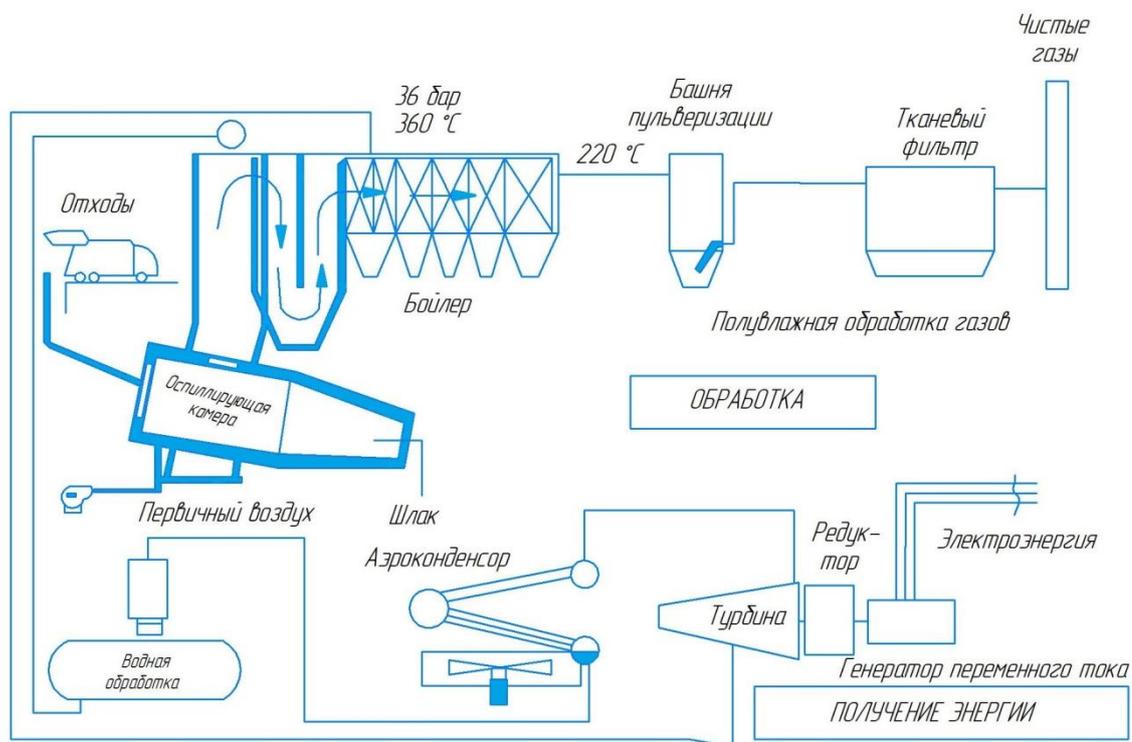


Рисунок 3 – Установка для переработки отходов и выработки электроэнергии, эксплуатируемая "Cyclergie"

В этом случае пластик выступает не в роли вторичного сырья, а в роли топлива: при сжигании полиэтилена выделяется около 46 МДж/кг энергии.

Рекуперация энергии через сжигание сегодня, возможно, является наилучшим средством для утилизации тех пластмасс, которые слишком трудно перерабатывать повторно.

В какой-то степени это аналогично сжиганию нефтяного топлива, т.к. при сжигании, например, полиэтилена выделяется 46 МДж/кг энергии. Но, в отличие от нефтяного топлива, у пластика есть преимущество, т.к. первоначально он использовался как полимер и выполнил две функции, важные для нефтехимической и энергетической отраслей.

С экологической точки зрения этот метод является «грязным», т.к. в результате остаётся углеродный след и пепел, загрязняющие окружающую сре-

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

ду. Такой эффект возникает на сжигательных установках старого образца, на которых не предусмотрены меры по минимизации загрязнения воздуха.

Конструирование новых сжигательных установок поможет добиться практически полного сжигания, так что компоненты полимера почти полностью превратятся в  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ . Генерация низкомолекулярных органических веществ с токсическими или канцерогенными свойствами совершенно незначительна. Другие элементы, которые иногда содержатся в полимерах, такие как хлор и азот, могут приводить к образованию  $\text{HCl}$ ,  $\text{CO}$ , и  $\text{NO}_x$ , являющихся нежелательными компонентами газообразных выбросов. Их можно удалить из дыма посредством промывания газа, или же их присутствие в полимерном сырье можно свести до минимума с помощью грубой сортировки.

Следует отдавать себе отчет в том, что компоненты чистых полимеров не образуют пепел в условиях надлежащего сгорания. Пепел состоит, в основном, из компаундов, часто – оксидов или металлов, которые не являются нормальными компонентами полимеров. Они появляются из других материалов, перемешанных с полимерами, или из остатков катализатора, стабилизаторов или пигментов. Промышленность предпринимает меры, чтобы максимально уменьшить их содержание в полимерах. Грубая сортировка сырья, поступающего в мусоросжигательную печь, может снизить попадание тяжелых металлов в образующийся пепел. Также можно добавлять в сжигаемое сырье такие вещества, как известь, которая образует с пеплом стабильные, плохо растворимые соединения.

Если металлосодержащие примеси в мусоре не сжигать, то они затем поступят на свалку или на предприятия, выпускающие компост, и продолжат свой путь в экологическом цикле неконтролируемым путем. Если же они концентрируются в пепле печи, то их можно удалять в небольшом объеме и утилизировать приемлемым для окружающей среды способом.

Следует подчеркнуть, что полимерные отходы, в целом, являются чистым, хорошим топливом. Их теплотворная способность высока и они горят так же чисто, как большинство сортов нефти, и намного чище, чем уголь. Их

					<i>ВКР.115238.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						28
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		

сжигание возвращает большую часть энергии, заключенной в нефти, из которой полимеры были изготовлены.

Хотя сжигание можно проводить чисто, часто этого не делается из-за нежелания выделять достаточные средства для строительства современных сжигающих установок с надлежащим контролем и газоочисткой, которые могут быть весьма дорогими. Однако в долгосрочной перспективе эти установки могут представлять собой более экономичный и экологичный выход, чем продолжение захоронений, которые могут стать даже еще более затратными.

Избыточное тепло, получаемое при сжигании отходов, возвращается в виде горячей воды, пара и электроэнергии. Муниципалитеты и промышленные предприятия, утилизирующие отходы посредством сжигания, получают выигрыш за счет сокращения объема мусора, нагревания воды и генерации электроэнергии.

В современном мире, с его акцентом на экономические и экологические составляющие управленческой деятельности, извлечение энергии из отходов является более чем конкурентоспособным по сравнению с традиционной переработкой [17].

					<i>ВКР.115238.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		29

## 2 ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Для анализа возможных методов утилизации твёрдых отходов полимерных производств была выбрана площадка Амурского ГХК. Образование твёрдых отходов рассматривается в рамках установки суспензионной полимеризации этилена с получением ПЭВП.

### 2.1 Технологическая схема получения ПЭВП суспензионным методом

Технологическая схема производства ПЭВП суспензионным методом представлена на рисунке 4 [18].

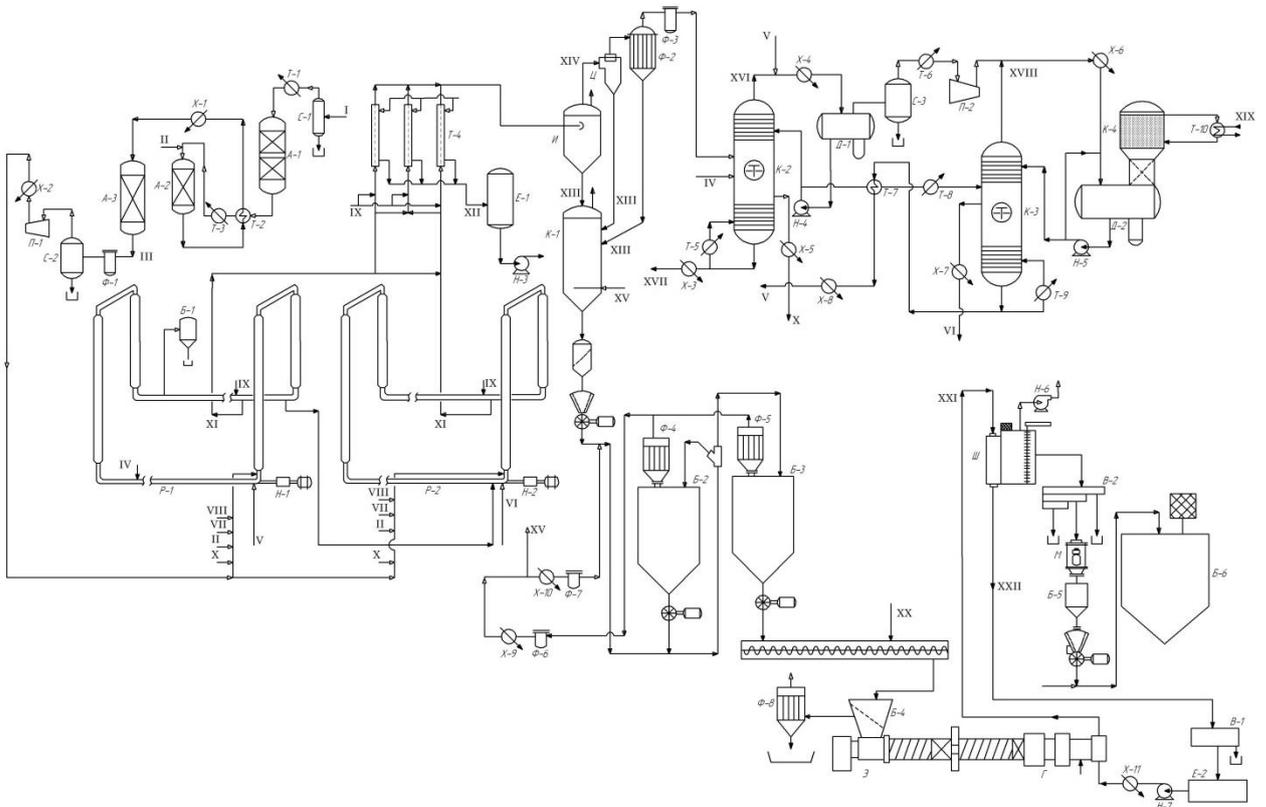


Рисунок 4 – Технологическая схема установки по производству суспензионного полиэтилена высокой плотности

Сырьевой этилен потоком I под давлением 3,6 – 3,8 МПа поступает в сепаратор подачи этилена С-1 для удаления всех жидкостей, а затем нагревается

<i>ВКР.115238.180301.ПЗ</i>				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.	Шамина М.А.			
Пров.	Охотникова Г.Г.			
Н контр.	Родина Т.А.			
Зав. каф.	Гужель Ю.А.			
<i>Анализ способов утилизации твердых отходов полимерных производств</i>			Лит.	Лист
			У	30
			<i>АмГУ, ИКуИН гр. 0107-об</i>	
			Листов	63

до 35 °С в нагревателе Т-1 и отправляется на очистку. Первый этап очистки этилена в адсорбере А-1 представляет собой удаление сернистых соединений (H<sub>2</sub>S, COS) и хлоридов в защитном слое этилена. А-1 содержит многоярусный слой адсорбента, который рассчитан на 4-летний срок службы адсорбента.

Далее этилен очищается в адсорбере А-2 с целью удаления ацетилена и кислорода в адсорбирующем слое ацетилена, т.к. ацетилен является каталитическим ядом. Небольшое количество водорода потоком II при температуре от минус 10 °С до 40 °С, под давлением 5,8 – 6,3 МПа и с чистотой выше 99,99 мол. %. вводится в подачу этилена в А-2 для вступления в реакцию с кислородом с целью образования воды и реакции с ацетиленом с целью производства этана. Теплообменник Т-2 и нагреватель Т-3 позволяют регулировать температуру этилена в диапазоне от 60 °С до 90 °С по мере необходимости для преобразования ацетилена. Для охлаждения отходящего потока предусматриваются теплообменник Т-2 и охладитель Х-1.

Окончательная очистка проводится в осушителе А-3. Установка заполняется влагопоглотителем и смесью силиката алюминия и молекулярного сита для впитывания воды, спиртов, аммиака и СО<sub>2</sub>. Данные вещества дезактивируют катализатор при очень низких концентрациях и должны быть удалены до попадания в реактор. Осушитель этилена должен эксплуатироваться при температуре около 35 °С, которая достигается в холодильнике Х-1.

Выходящий поток очищенного этилена III проходит через фильтр Ф-1 для улавливания мелких частиц осушителя и сепаратор С-2, в котором отделяется оставшаяся влага. После сепаратора поток этилена сжимается в компрессоре П-1 до давления 5,2 МПа и охлаждается в холодильнике Х-2 до 35 °С.

После очистки поток этилена объединяется с остальными потоками реактора перед попаданием на днище петлевого трубчатого реактора Р-1 и реактора Р-2. Место подачи этилена находится на стороне нагнетания циркуляционного насоса реактора Н-1 и Н-2, поэтому концентрация этилена является самой высокой в месте с самым высоким давлением в реакторе.

Каждый реактор оснащается циркуляционным насосом полимерного

					<i>ВКР.115238.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		31

шлама и охлаждающими рубашками на вертикальных опорах для отвода тепла реакции в 3350 кДж/кг с помощью этиленгликоля/воды, которые циркулируют в обратном по отношению к основному потоку направлению.

Водород используется для регулирования расплава полимера и подаётся на два петлевых реактора полиэтилена.

Безолефиновый изобутан потоком V подаётся только в реактор P-1 для промывки (за исключением параллельного режима), в реактор P-2 подаётся циркуляционный изобутан потоком VI для прочих промывок второго реактора.

Антистатический агент потоком VII вводится в подачу реактора для снижения статических зарядов в реакторе, которые могут приводить к прилипанию полиэтиленовых частиц к стенкам ёмкости. Для хромового катализатора и катализатора Циглера используют полимерное азотное и сернистое соединение, которое может содержать толуол.

Триэтилалюминий (поток VIII) действует как поглотитель яда и используется как сокатализатор реакции для катализатора Циглера-Натта (поток IV). Триэтилалюминий является металлалкилом, низкие уровни которого используются для повышения производительности хромового катализатора. Триэтилалюминий принимается в виде 1 % раствора в гептане.

Метанол используется в качестве реагента торможения реакции для прекращения какой-либо дальнейшей полимеризации катализатора после реактора. Он вводится потоком IX перед нагревателями T-4 линии газа мгновенного испарения. Метанол также используется для системы гашения реактора.

Гексен производится в виде парового бокового погона X из колонны дегексанизации K-2 и подаётся на установки очистки гексена. Гексен перекачивается насосом в каждый реактор.

Отходящий поток реактора XI поступает через нагреватели линии газа мгновенного испарения T-4, где нагревается до 80 °С, в камеру мгновенного испарения И. Нагреватели оснащены рубашкой, по которой циркулирует конденсат потоком XII, который стекает в ёмкость конденсата E-1 и насосом

					<i>ВКР.115238.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						32
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		

Н-3 перекачивается из емкости в систему регенерации конденсата.

Полиэтиленовые твёрдые частицы (мелкие пухообразные фракции) потоком XIII отделяются от газа мгновенного испарения в И. Газ мгновенного испарения XIV поступает из И в циклон Ц. Газ из циклона подается на фильтр Ф-2 и предохранительный фильтр Ф-3, прежде чем поступить в систему очистки и рециркуляции.

Большинство мелких пухообразных фракций задерживается в И и поступает из нее в продувочную колонну К-1, в которой используется азот (XV) для продувки. Захваченные мелкие пухообразные фракции также выгружаются из циклона Ц и фильтра Ф-2 в продувочную колонну К-1. Продувочная колонна обычно работает под давлением приблизительно 0,04 – 0,07 МПа.

Весь газ мгновенного испарения из Ф-3 поступает в колонну дегексанизации К-2. Колонна К-2 также принимает свежий изобутан и гексен. Пары из колонны К-2 потоком XVI поступают в конденсатор колонны дегексанизации Д-1, где большая часть паров конденсируется. Жидкости из конденсатора Д-1 самотёком поступают в аккумулятор верхнего продукта К-2, а затем возвращаются в колонну в качестве обратного потока или накачиваются в колонну К-3. Неконденсируемые пары проходят через входной сепаратор С-3 для удаления жидкостей из потока пара. Далее пары нагреваются в Т-6 до 115 °С и сжимаются в компрессоре П-2 до 2,25 МПа для подачи в колонну деэтанализации К-3.

Небольшое количество тяжёлых фракций или олигомеров удаляется с днища колонны дегексанизации и подаётся во внеплощадочную установку сжигания потоком XVII.

Колонна деэтанализации К-3 удаляет лёгкие газы, водород, азот, кислород (XVIII) из потока изобутана. Затем изобутан разделяется на насыщенный этиленом поток (циркуляционный изобутан) и безэтиленовый изобутан (безолефиновый изобутан). Подача жидкости в колонну К-3 из колонны К-2 осуществляется в верхнюю часть, предварительно подогреваясь в Т-7 и Т-8. Пары из компрессора П-2 направляются непосредственно в линию паров верхнего

					<i>ВКР.115238.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		33

продукта перед конденсатором Д-2. Поток циркуляционного изобутана удаляется как боковой погон, охлаждается в Х-7 и отправляется на осушку. Безолефиновый поток охлаждается в Т-7, а затем в холодильнике Х-8, прежде чем попасть в установку очистки безолефинового изобутана.

Поток верхнего продукта из К-3 подаётся через конденсатор колонны Д-2 в сдувочную колонну К-4. Сдувочная колонна не имеет ребойлера. Для обеспечения обратного потока предусматривается охлаждаемый пропаном (XIX) конденсатор Т-10. Конденсированные жидкости самотёком поступают обратно в аккумулятор верхнего продукта К-3 из К-4.

Из продувочной колонны К-1 мелкие пухообразные фракции подаются либо в бак сырья экструдера Б-3, либо в бункер мелких пухообразных фракций Б-2.

Мелкие пухообразные фракции из Б-3 подаются в конвейер-смеситель Л, где твёрдые присадки ХХ из биг-бегов вводятся перед сбросом в подающую горловину экструдера Г-1 и соединяются с мелкими пухообразными фракциями. Под действием гравитации они падают в загрузочный бункер экструдера Б-4, прежде чем попасть в экструдер (Э). По мере плавления полимерных мелких пухообразных фракций в экструдере осуществляется отвод паров из подающей горловины экструдера. Для удаления небольшого количества частиц пыли из паров подающей горловины экструдера перед выбросом в атмосферу предусматривается продувочный фильтр загрузочного бункера экструдера Ф-8. В экструдере расплавляется и гомогенизируется смесь полимера/присадки. Расплавленный полимер перекачивается через комплект сит и нагретую горячим маслом фильеру для образования гранул. Экструдер специально проектируется для гомогенизирования двухрежимного продукта и уменьшения гелей в продуктивном полимере.

Система гранулирования включает в себя гранулятор Г, систему воды грануляции, осушитель гранул Ш, сито воды грануляции В-1 и сито для крупных гранул В-2. Полимерные гранулы в потоке водной суспензии (XXI) от гранулятора Г к осушителю Ш, в котором гранулы отделяются от воды и вы-

					<i>ВКР.115238.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		34

высушиваются воздухом в осушителе гранул. Высушенные гранулы самотёком поступают в сито для крупных гранул В-2, где гранулы отделяются от гранул слишком мелкого и крупного размера и самотёком движутся через расходомер гранул М в уравнильный бункер грохота Б-5 для отсева крупных фракций. Вода потоком ХХII из осушителя самотёком возвращается в резервуар воды грануляции Е-2 после фильтрации в сите В-1 для удаления мелких частиц полимера из воды для гранул.

Гранулы подаются системой перекачки разбавленной фазы из уравнильного бункера грохота до бункера Б-6.

## 2.2 Классификация твёрдых отходов процесса полимеризации

Перечень твёрдых производственных отходов, образующихся на установке полимеризации Амурского ГХК, с ожидаемой производительностью в 2,3 млн т полиэтилена в год, представлен в приложении А.

На основании данных таблицы А.1 для дальнейшего анализа методов утилизации твёрдых отходов приведём классификацию производимых отходов по их составу и назначению. Весь перечень отходов можно разбить на 6 основных групп:

- Отработанные сорбенты и молекулярные сита (100,348 т/год);
- Отработанный катализатор (1,425 т/год);
- Отработанные фильтры и картриджи (1,582 т/год);
- Пыль добавок экструзии (1,055 т/год);
- Полимерные отходы (пыль, шлам и просыпи) (1027,95 т/год);
- Прочие отходы производства (104,506 т/год).

К прочим отходам производства относится металлическая и полиэтиленовая тара, используемая в основном технологическом процессе, как вспомогательный материал.

Как видно из соотношения, на первом месте по численности образования находятся полимерные отходы, в составе которых основную часть занимает полиэтилен. В 10 раз меньше образуется отработанных сорбентов и прочих отходов производства (различной тары). Менее 1 % от общего количества отхо-

					<i>ВКР.115238.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		35

дов составляют отработанные катализаторы, фильтры и картриджи.

Каждая группа отходов подлежит собственному методу утилизации, исходя из их класса опасности, состава отхода и времени накопления. Масса производственных отходов, указанная выше, включает в себя помимо твёрдых компонентов также жидких отходы, массовая доля которых будет рассчитана далее [19].

### 2.3 Анализ и обоснование выбора метода утилизации твёрдых отходов

Данные по объёму и классу опасности отходов, образующихся на объектах основного производства Амурского ГХК, представлены в таблице 8 [15].

Таблица 8 – Объём и класс опасности отходов основного производства ГХК

Объекты ГХК	Количество отходов, т/год					Итого, т/год
	I КО	II КО	III КО	IV КО	V КО	
Основное производство	0,205	3751,786	271,116	2526,284	1208,785	7758,176

В итоговую сумму отходов за год включены все виды отходов со всех установок комплекса. По данным приложения А рассчитаем количество твёрдых отходов с установки полимеризации ПЭВП суспензионным методом с ожидаемой производительностью в 500 тыс. т/год. Данные расчёта представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Количество твёрдых отходов производства ПЭВП

Наименование отхода	Содержание твёрдой фазы, т/год	Содержание примесей, т/год
1	2	3
Подготовка сырья		
Отработанный адсорбент	94,2000	0,3980
Производство ПЭВП		
Пыли полиэтилена	121,3670	–
Шлам полиэтилена	110,1600	12,2400
Просыпи экструдера	784,2500	–
Отработанный адсорбент	5,3400	0,1600
Цеолит	0,2475	0,0025
Отработанный катализатор	1,4250	–
Пыль добавок экструзии	1,0000	0,0380
Фильтры полипропиленовые	1,3670	–
Отработанные картриджи	0,1650	–
Прочие отходы производства		

1	2	3
Металлические бочки	87,0680	1,9320
Полиэтиленовая тара и упаковочный материал	9,4300	0,1700
Пластмассовая тара	5,8140	0,0920
ИТОГО	1221,8335	15,3745

К примесям относятся: вода, углеводороды, различные масла и соединения серы.

Исходя из данных таблиц 8 и 9, рассчитаем процентное соотношение твёрдых отходов (включая примеси) полимерной установки ко всему объёму основного производства:

$$1237,208 \div (7758,176 \div 100) = 15,95 \%$$

Исключив примеси (1,24 % от общей массы отходов) из количества твёрдых отходов распределим оставшиеся отходы по методу утилизации на 3 группы:

8,37 % – специфические отходы (сорбенты, катализаторы, добавки экструзии и фильтрующие материалы) – 102,21 т/год;

7,13 % – металлические бочки – 87,068 т/год;

84,50 % – отходы, которые можно использовать как вторичное сырьё – 1032,556 т/год.

К вторичному сырью относятся все полимерные отходы основного производства ПЭВП, а также полипропиленовое волокно в отработанных фильтрах и картриджах и отработанная незагрязненная тара (полиэтиленовая, пластмассовая).

Отходы всех трёх групп относятся к перечню отходов, захоронение которых запрещается в связи с содержанием в них полезных компонентов. Данный перечень указан в Распоряжении Правительства РФ №1589-р [20]. В связи с этим строительство полигона для захоронения твёрдых отходов на установке полимеризации этилена является нецелесообразным.

Специфические отходы и металлические бочки можно подвергнуть даль-

					ВКР.115238.180301.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		37

нейшей утилизации, но производить данный вид работ на территории комплекса не имеет смысла. Выгоднее в данном случае будет продать образующиеся отходы специализированным организациям, которые владеют необходимым оборудованием с целью извлечения полезных компонентов. В таком случае предприятие получает прибыль за счет продажи отходов производства. Возможны лишь затраты на транспортировку и обслуживание полигона временного хранения отходов для дальнейшей передачи специализированным организациям.

Основная часть твёрдых отходов (84,5 %) из-за своего полимерного состава будет являться уже не отходом, а вторичным сырьём для полимерного производства: часть из них может быть направлена на рецикл внутри первичного производства, а часть будет являться сырьём для установки вторичной полимеризации. На рецикл могут быть отправлены незагрязненные полиэтиленовые агломераты или пыли, которые обладают свойствами целевого полимера, но отличаются размерами от продуктового гранулята.

Строительство установки вторичной переработки полимерных отходов на территории Амурского ГХК имеет большие преимущества:

- Расширение ассортимента производимой товарной продукции, за счет производства вторичных полимеров из отходов первичного производства;
- Соблюдение главного принципа безотходного производства: отходы = доходы;
- Повышение экологичности производства в сравнении с захоронением и сжиганием.

Таким образом, на основании проведённого анализа в качестве оптимального метода утилизации основной массы твердых отходов предлагается вторичная переработка полимерных отходов на специальной установке. Утилизация оставшейся части твердых отходов целесообразна путём передачи материалов специализированным организациям для извлечения из них полезных компонентов.

## 2.4 Сырьё для вторичной переработки

Сырьём для установки вторичной переработки являются твёрдые отходы основного полимерного производства, представленные в таблице 10 [21].

Таблица 10 – Наименования и состав вторичного сырья

Наименование сырья	Состав	Количество, т/год
Пыли полиэтилена	Полиэтилен	121,3670
Шлам полиэтилена	Полиэтилен	110,1600
	Изобутан+гексан	12,2400
Просыпи экструдера	Полиэтилен	784,2500
Фильтры полипропиленовые	Полипропилен	1,3500
	Пыль полиэтилена	0,0670
Отработанные картриджи	Полипропилен	0,1485
	Пыль полиэтилена	0,0165
Полиэтиленовая тара	Полиэтилен	9,4300
	Пыль добавок, в т.ч.:	
	Стеарат кальция	0,1450
	Стеарат цинка	0,0115
	Оксид цинка	0,0019
Пластмассовая тара	Диоксид кремния	0,0144
	Пластмассовая тара	5,8140
	Оксид алюминия актив.	0,0013
	Цеолит	0,000001
	Углерод черный	0,0032
	Триоксид хрома	0,00001
	Диоксид титана	0,000001
	Пыль добавок, в т.ч.:	
	Стеарат кальция	0,0002
	Стеарат цинка	0,00003
	Вода	0,0003
	Диоксид кремния	0,00002
Диоксид кремния аморфный	0,0012	

Как видно из приведенных данных, основную часть состава сырья составляют полимерные материалы: полиэтилен, полипропилен и пластмассовая тара, которые являются целевыми для вторичной переработки. Малое количество примесей в составе (около 2 %) указывает на упрощение стадии подготовки сырья для дальнейшей переработки: требуется лишь разделение отходов по мере их загрязненности остатками добавок.

## 2.5 Технологическая схема вторичной переработки полимерных отходов

Предлагаемая технологическая схема установки вторичной переработки полимерных твёрдых отходов представлена на рисунке 5 [22].

					<i>ВКР.115238.180301.ПЗ</i>	Лист
						39
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

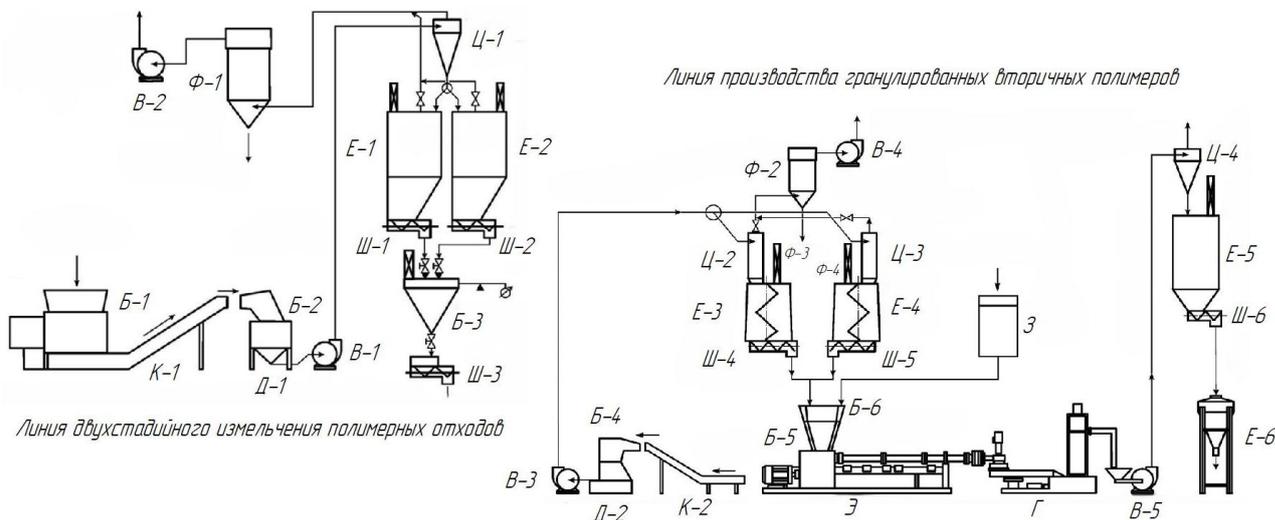


Рисунок 5 – Технологическая схема установки вторичной переработки полимерных твёрдых отходов

### Линия двухстадийного измельчения полимерных отходов

Сырьё поступает на переработку в виде:

- жгутов и глыб, образующихся в ходе технологического процесса;
- использованной полимерной тары.

Линия представляет собой ряд узлов и агрегатов, объединенных в одну технологическую цепочку с целью измельчения поступающих на переработку полимерных отходов в крошку, пригодную для дальнейшего использования.

Перерабатываемый материал загружается в загрузочный бункер шредера Б-1 с использованием электропогрузчика. С помощью гидравлического пресовочного устройства материал прижимается к ротору и измельчается в зазоре между роторными и статорными ножами.

Размер сетки, установленной под ротором, определяет размеры частиц получаемого дробленого материала и составляет порядка 60 мм. Процесс измельчения происходит до тех пор, пока размеры измельченного материала не достигнут диаметра ячеек. В этом случае материал просыпается на ленточный конвейер К-1, где проходит через магнитный барабан на конце конвейера для удаления частиц черных металлов. С ленточного конвейера перерабатываемый материал поступает в дробилку Д-1.

Измельчение материала на второй стадии происходит между шестью ро-

										Лист
										40
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ВКР.115238.180301.ПЗ					

торными ножами дробилки и четырьмя статорными. Готовая дробленка отсасывается транспортным вентилятором В-1 из бункера пневмотранспорта Б-2, расположенного под дробилкой, и подается по соединительному трубопроводу в циклон Ц-1 для осаждения дробленого материала. Отвод воздуха в атмосферу производится через аспирационный фильтр Ф-1 с помощью вытяжного вентилятора В-2.

Готовый дробленый материал поступает в одну из двух товарных емкостей Е-1 или Е-2, выбор которой осуществляется двухходовым клапаном. После чего, дозирующие шнеки Ш-1 или Ш-2, смонтированные в нижней части емкостей, подают материал в бункер навески Б-3. Фасовка готового дробленого материала осуществляется в клапанные полипропиленовые мешки, путем ручного навешивания с использованием дозирующего шнека Ш-3 и платформенных весов.

### **Линия производства гранулированных вторичных полимеров**

Помимо порошка с линии двухстадийного измельчения полимерных отходов, на линию поступает сырьё в виде:

- прессованных брикетов пленки, массой 100 – 250 кг, перевязанных стальной проволокой;
- кусков пленки, полимерной стружки, упакованных в полимерный рукав или мягкий контейнер;
- неупакованных обрезков пленки.

Предварительно с прессованных брикетов с помощью кусачек удаляется

Предварительно с прессованных брикетов с помощью кусачек удаляется проволока, брикет разделяется на отдельные отрезки пленки. Упакованные в рукав отходы извлекаются из него. Для обеспечения необходимых размеров подаваемых на транспортную ленту кусков сырья, может использоваться термонаж, вмонтированный в торец ленточного конвейера.

Сырьё равномерно загружается на ленту конвейера К-2. Через металлодетектор оно подается в загрузочную горловину дробилки Д-2. По достижении частицами измельченного материала размера ячеек сетки, отделяющей по-

					<i>ВКР.115238.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						41
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		

лость дробления от бункера пневмотранспорта Б-4, они проваливаются вниз, где подхватываются потоком воздуха, и транспортным вентилятором В-3 подаются на вход одного из циклонов дробленой пленки Ц-2 или Ц-3.

В циклоне, установленном непосредственно на емкости дробленой пленки Е-3 или Е-4, происходит отделение частиц измельченного материала от транспортирующего воздуха. Дробленный материал оседает в емкость, а воздух подается на дальнейшую очистку в аспирационный фильтр Ф-2 через тангенциальный ввод. Наиболее крупные из унесенных частиц осаждаются в нижней его части за счет центробежной силы и попадают в сборник. Более мелкие частицы остаются на фильтрующих элементах, через которые проходит воздух перед тем, как попасть в атмосферу. Стряхивание осажденных частиц с фильтрующих элементов в сборник происходит за счет обратной продувки технологическим воздухом.

Для облегчения процесса фильтрации используется вытяжной вентилятор фильтра В-4.

Для предотвращения подпора давления или создания разрежения в емкостях дробленой пленки на них установлены дыхательные фильтры Ф-3 и Ф-4.

Из-за малой насыпной плотности и склонности к уплотнению и зависанию дробленая пленка не способна самостоятельно под действием силы тяжести поступать из емкости в бункер загрузчика экструдера-гранулятора Б-5. Поэтому емкости дробленой пленки снабжены вертикальными шнеками-ворошителями Ш-4 и Ш-5 для разрыхления материала, поступающего к выходному окну, расположенному в нижней части. Емкость Е-3 используется для накопления дробленой пленки из ПЭВД и ПЭНД, емкость Е-4 предназначена для дробленого полипропилена. Дробленка, выгружаемая через выходное окно, подхватывается горизонтальным дозирующим шнеком, смонтированным на емкости, и подается в бункер загрузчика Б-5 экструдера-гранулятора.

Для перемещения порошковых материалов в бункер загрузчика экструдера используется вакуумный загрузчик З. Для этого машинисту необходимо открыть мешок, визуально осмотреть сырье и убедиться, что оно сухое.

					<i>ВКР.115238.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						42
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		

Погрузить шланг всаса в мешок. Вакуумный насос создает разрежение и материал по магистрали поступает в вакуумный бункер Б-6, установленный на бункере загрузчика экструдера.

Вакуумный загрузчик для автоматической работы укомплектован электромеханическим лопастным датчиком, установленным в бункере загрузчика экструдера. Датчик контролирует наполнение и подает сигнал на запуск либо остановку работы вакуумного загрузчика.

Для обеспечения равномерной и бесперебойной подачи сырья в экструдер Э, бункер загрузчика снабжен двумя ворошителями. Они не дают дробленому материалу слеживаться и зависать, обеспечивая постоянное его поступление к расположенному в нижней части бункера горизонтальному дозирующему шнеку, который уплотняет его и через боковое окно подает в зону загрузки экструдера.

Поддержание уровня происходит за счет включения дозирующих шнеков на емкостях дробленой пленки по сигналу от двух датчиков уровня, установленных в бункере. Цилиндр шнека загрузчика на участке от бункера до экструдера имеет зону, охлаждаемую водой для предотвращения преждевременного плавления подаваемого материала в результате нагрева под действием трения.

Подаваемый шнеком загрузчика материал захватывается шнеком экструдера Э и перемещается к гранулирующей головке. При этом полимер плавится за счет тепла, получаемого от электронагревателей шести зон нагрева, а также трения о стенки цилиндра. Благодаря сдвиговым деформациям происходит пластифицирование и гомогенизация образующегося расплава. В зоне дегазации за счет резкого снижения давления происходит выделение из массы расплава летучих веществ, удаляемых через окно в корпусе цилиндра. При прохождении расплава через сетчатый фильтр Ф-5, установленный перед его входом в гранулирующую головку, задерживаются частицы механических примесей, содержащихся в исходном сырье.

По мере выдавливания полимерного расплава через отверстия головки

					<i>ВКР.115238.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						43
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		

(фильеры) он обрезается вращающимся ножом гранулятора и охлаждается потоком воды П.

Получающиеся в результате гранулы вторичного полимера по коробу узла гранулирования, охлаждения и сушки гранул Г через сито подаются на спиральный подъемник центрифуги П. При этом разбиваются и отделяются агломераты гранул. После центрифуги осушенные гранулы попадают в бункер транспортного вентилятора гранулята Б-7. Транспортный вентилятор В-5, подает поток воздуха с гранулами в циклон Ц-4, через тангенциальный ввод. За счет центробежной силы происходит осаждение гранул в товарную емкость Е-5.

Транспортный воздух после выхода из циклона сбрасывается в атмосферу без дополнительной очистки, так как при грануляции в потоке воды не происходит образования пыли.

Гранулированный материал подается дозирующим шнеком из товарной емкости Е-5 в емкость фасовочного узла Е-6, откуда отвозятся на склад готовой продукции с использованием роликовой тележки или электропогрузчика.

					<i>ВКР.115238.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						44
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		

### 3 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

В данном разделе работы рассчитываются основные показатели инвестиционной привлекательности проекта по внедрению вторичной переработки твердых полиэтиленовых отходов в полимерное производство, согласно методике [23].

Основное оборудование, устанавливаемое на установке вторичной переработки полимерных отходов, на основании рисунка 5, и его стоимость представлены в таблице 11 [24].

Таблица 11 – Основное оборудование установки вторичной переработки

Оборудование	Кол-во	Стоимость, тыс. руб.	Электрическая мощность, кВт
Ленточный конвейер	2	1400	1,5
Шнековый транспортёр	6	3000	4
Дробилка	2	12000	110
Циклон	4	800	30
Экструдер	1	10000	200
ИТОГО		27200	567

На вспомогательное оборудование выделим 15 % от стоимости основного оборудования, что составит 4080 тыс. руб.

Учитывая количество отходов, которые могут быть использованы в качестве вторичного сырья, образующихся на основной установке полимеризации (таблица 9), примем производительность установки вторичной переработки полимерных отходов  $G_{\text{год}} = 1050$  т/год.

Срок окупаемости проекта ( $T_{\text{ОК}}$ ) рассчитывается по формуле (1):

$$T_{\text{ОК}} = \frac{K_{\text{T}}}{D_{\text{T}} - И_{\text{T}}}, \quad (1)$$

где  $D_{\text{T}}$  – суммарный доход от проекта в год, тыс. руб.;

$И_{\text{T}}$  – суммарные операционные издержки в год, тыс. руб.;

					<i>ВКР.115238.180301.ПЗ</i>					
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>	<i>Анализ способов утилизации твердых отходов полимерных производств</i>					
<i>Разраб.</i>	<i>Шамина М.А.</i>							<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Пров.</i>	<i>Охотникова Г.Г.</i>							<i>У</i>	45	63
<i>Н контр.</i>	<i>Родина Т.А.</i>							<i>АмГУ, ИКуИН гр. 0107-об</i>		
<i>Зав. каф.</i>	<i>Гужель Ю.А.</i>									

$K_T$  – капитальные вложения, тыс. руб.

Доход определяется по формуле (2) как стоимость произведенного вторичного полимера:

$$D_T = C_0 \cdot G_{\text{год}}, \quad (2)$$

где  $C_0$  – стоимость продажи одной тонны вторичного полиэтиленового гранулята.

$G_{\text{год}}$  – массовая производительность экструдера линии вторичной переработки, т/год.

Себестоимость продукции ( $\Pi$ ) рассчитывается по формуле (3):

$$\Pi = \frac{I_T}{G_{\text{год}}}; \quad (3)$$

$$\Pi = \frac{34797}{1000} = 34,8 \text{ тыс. руб.};$$

Установим наценку на товар в 15 % и тогда цена готовой продукции составит 40 тыс. руб./т

Отсюда доход составит:

$$D_T = 40 \cdot 1050 = 42000 \text{ тыс. руб.};$$

Капитальные вложения рассчитываются по формуле (4):

$$K_T = K_{\text{ОБ}} + K_{\text{ПОСТ}} + K_{\text{ПР}}, \quad (4)$$

где  $K_{\text{ОБ}}$  – капитальные вложения на покупку оборудования, тыс. руб., рассчитанные в таблице 11;

$K_{\text{ПОСТ}}$  – постоянная часть затрат на строительные и наладочные работы, тыс. руб. Принимаем равными 20 % от  $K_{\text{ОБ}}$ ;

$K_{\text{ПР}}$  – прочие затраты тыс. руб. Принимаем равными 10 % от  $K_{\text{ОБ}}$ .

$$K_T = 31280 + 0,2 \cdot 31280 + 0,1 \cdot 31280 = 40664 \text{ тыс. руб.}$$

Операционные издержки вычисляются по формуле (5):

$$I_T = I_{\text{АМ}} + I_{\text{ЭКС}} + I_{\text{ΔW}} + I_{\text{ЗП}}, \quad (5)$$

					<i>ВКР.115238.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						46
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		

где  $I_{AM}$  – амортизационные отчисления в год, тыс. руб.;

$I_{ЗП}$  – заработная плата работников в год, тыс. руб.;

$I_{\Delta W}$  – стоимость электроэнергии в год, тыс. руб.;

$I_{\text{ЭКС}}$  – эксплуатационные издержки на ремонт и обслуживание, тыс. руб.

Амортизационные отчисления по формуле (6) составляют:

$$I_{AM} = \frac{K_{OB}}{T_{OB}}, \quad (6)$$

где  $T_{OB}$  – средний срок службы технологического оборудования, принимаем равным 15 годам.

$$I_{AM} = \frac{31280}{15} = 2085,33 \text{ тыс. руб.}$$

Эксплуатационные издержки на ремонт и обслуживание рассчитаем по формуле (7):

$$I_{\text{ЭКС}} = K_T \cdot a \cdot k_{\text{ДОП}} + I_{\text{ЗП}}, \quad (7)$$

где  $a = 0,1$  – ежегодные отчисления на ремонт и обслуживание установки вторичной переработки;

$I_{\text{ЗП}}$  – зарплата работников, рассчитанная в таблице 12, тыс. руб.;

$k_{\text{ДОП}}$  – коэффициент, характеризующий увеличение эксплуатационных затрат на обслуживание первичного производства при увеличении производительности, принимаем равным 1,1.

Таблица 12 – Расчёт заработной платы сотрудников установки [25]

Должность	Кол-во, человек	Ежемесячная зарплата, руб.	Ежегодная зарплата, руб.
Оператор линии подготовки	2	70000	840000
Оператор экструзионной линии	2	70000	840000
Разнорабочий	6	30000	360000
Кладовщик	2	35000	420000
Слесарь	2	60000	720000
ИТОГО	14	650000	7800000

$$I_{\text{ЭКС}} = 31280 \cdot 0,1 \cdot 1,1 + 7800 = 11240,8 \text{ тыс. руб.}$$

Расходы на электроэнергию считаем по формуле (8):

					<i>ВКР.115238.180301.ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		47

$$I_{\Delta W} = C \cdot P_{\text{НОМ}} \cdot k_W \cdot T, \quad (8)$$

где  $P_{\text{НОМ}}$  – суммарная мощность технологического оборудования, кВт;

$C$  – стоимость электроэнергии в Амурской области. Примем ее равной 4,05 руб./ кВт · ч [26];

$k_W$  – коэффициент увеличения потребления электроэнергии в части первичного производства, принимаем равным 10 %;

$$I_{\Delta W} = 4,05 \cdot 567 \cdot 1,1 \cdot 8500 = 21470,87 \text{ тыс. руб.}$$

Операционные затраты равны:

$$I_T = 2085,33 + 11240,8 + 21470,87 = 34797 \text{ тыс. руб.}$$

Рентабельность проекта ( $P$ ) по формуле (9) составит:

$$P = \frac{\Pi}{I_T} \cdot 100 \% ; \quad (9)$$

$$P = \frac{7203}{34797} \cdot 100 = 20,7 \%$$

Срок окупаемости проекта равен:

$$T_{\text{ОК}} = \frac{40664}{42000 - 34797} = 5,65 \text{ года}$$

Чистая ежегодная прибыль ( $\Pi$ ) рассчитывается по формуле (10) и составит:

$$\Pi = D_T - I_T ; \quad (10)$$

$$\Pi = 42000 - 34797 = 7203 \text{ тыс. руб.}$$

Строительство установки вторичной переработки можно рекомендовать для полимерного производства ПЭВП на Амурском ГХК. Главной целью такой установки является не получение прибыли, а полная реализация образующихся отходов без их скопления и захоронения на полигонах для защиты окружающей среды. Ещё одним экономическим преимуществом является появление новых рабочих мест.

					<i>ВКР.115238.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						48
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		

Продукция, производимая на установке, будет являться ценным компонентом для строительства и нефтехимической промышленности. Переработанные отходы применяются в качестве добавок к первичному сырью для получения продуктов с отличными свойствами, к которым не предъявляют высоких требований, например, такие продукты не будут использованы в качестве тары для пищевых продуктов, но могут применяться для дорожных покрытий, кровли и др. строительных материалах.

					<i>ВКР.115238.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		49

## 4 БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ ПРОИЗВОДСТВА

### 4.1 Опасные производственные факторы

Переработка полимерных отходов связана с рядом серьезных рисков, которые необходимо учитывать. Во-первых, полиэтиленовая тара и продукты её переработки могут приводить к значительному загрязнению:

– Воздуха: выбросы летучих органических соединений и мелких частиц ухудшают качество воздуха и могут вызвать респираторные заболевания;

– Воды: сточные воды, содержащие остатки химических веществ и микропластиков, при недостаточной очистке могут загрязнять водоемы, нанося вред водной флоре и фауне;

– Почвы: при неправильной утилизации отходы переработки могут попадать в почву, приводя к её загрязнению токсичными веществами и снижению плодородия.

Опасность загрязнения обуславливается химической стойкостью данного вида отходов. Пластики, при неправильной утилизации, способны накапливаться в почве и воде, загрязняя их и приводить к гибели живых организмов.

Вдыхание пыли и вредных газов может привести к хроническим респираторным заболеваниям [27].

К физическим производственным факторам относятся:

1) Опасность возгорания и взрыва: полиэтилен легко воспламеняется, что создает высокий риск возникновения пожаров и взрывов. Искры от оборудования или перегрев могут вызвать воспламенение полиэтилена.

При накоплении газов, выделяемых в процессе переработки, существует опасность взрыва;

2) При работе с горячими материалами и оборудованием возможны ожоги;

					<i>ВКР.115238.180301.ПЗ</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Шамина М.А.</i>			<i>Анализ способов утилизации твердых отходов полимерных производств</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Пров.</i>		<i>Охотникова Г.Г.</i>				<i>У</i>	<i>50</i>	<i>63</i>
<i>Н контр.</i>		<i>Родина Т.А.</i>				<i>АмГУ, ИКуИН гр. 0107-об</i>		
<i>Зав. каф.</i>		<i>Гужель Ю.А.</i>						

3) Несоблюдение мер по безопасности при работе с дробилкой и экструдером может привести к серьезным травмам: опасность зацепа и перемалывания конечностей, опасность поражения электрическим током и опасность выброса пластикового мусора.

При правильной и герметичной эксплуатации установки, химическое воздействие на окружающую среду можно свести до минимума. В этом случае, наибольшую опасность для обслуживающего персонала несут физические факторы. Перед началом работы установки необходимо учесть все возможные риски и принять ряд мер по минимизации вредного воздействия на персонал и окружающую среду.

#### **4.2 Меры по обеспечению безопасности производства**

Для соблюдения Федерального закона № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» необходимо принять комплексные меры [28]:

– Внедрение систем рециркуляции позволит повторно использовать очищенные сточные воды в производственном процессе, снижая потребление пресной воды и предотвращая загрязнение водоемов;

– Организация эффективных систем сбора и утилизации отходов переработки, включая разделение на опасные и неопасные отходы, поможет минимизировать их негативное воздействие на окружающую среду.

– Внедрение надежных систем вентиляции и мониторинга концентрации газов позволит снизить количество выбросов в атмосферный воздух.

Для организации безопасной деятельности обслуживающего персонала на установке, в соответствии с трудовым кодексом РФ и инструкцией по технике безопасности на производстве, необходимо контролировать соблюдение следующих действий [29]:

1) Во избежание ожогов и взрывов, необходим строгий контроль за температурой и давлением в системе;

2) Использование качественных средств индивидуальной защиты, такими как респираторы, защитные очки, перчатки и специальная одежда, которыми должны быть обеспечены все работники установки;

					<i>ВКР.115238.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		51

3) Регулярное обучение персонала правилам техники безопасности, контроль, за соблюдением инструкций и проведение инструктажей по действиям в аварийных ситуациях;

4) Внедрение автоматических систем пожаротушения, датчиков дыма и газоанализаторов, а также обеспечение производственных помещений средствами первичного пожаротушения;

5) Проведение регулярных медицинских осмотров для раннего выявления и лечения профессиональных заболеваний, а также мониторинг здоровья работников.

### **Меры по сокращению рисков травматизма**

Для сокращения рисков травматизма на дробилках пластика и экструдерах необходимо предпринять следующие меры:

1) Надлежащее обслуживание. Оборудование должно регулярно осматриваться и обслуживаться, чтобы обеспечить его исправную работу.

2) Блокировка. Во время технического обслуживания и чистки оборудование должно быть заблокировано, чтобы предотвратить случайный запуск.

3) Защитные ограждения. Установка защитных ограждений вокруг дробилки предотвратит доступ к опасным зонам.

4) Автоматическая подача. Внедрение автоматической подачи материала минимизирует контакт с вращающимися лезвиями.

5) Установка аварийных выключателей в легкодоступных местах для экстренной остановки оборудования [30].

Реализация этих мер позволит значительно снизить риски травматизма при работе на дробилках пластика и экструдерах, обеспечивая безопасную рабочую среду для операторов.

Только соблюдение всех предложенных мер и постоянное внимание к вопросам безопасности помогут создать благоприятные условия труда и предотвратить несчастные случаи на производстве.

					<i>ВКР.115238.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		52

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения бакалаврской работы рассмотрены производственные твёрдые отходы, образующиеся в процессе полимеризации полиэтилена низкого давления, изучены действующие методы утилизации твёрдых отходов, рассмотрен процесс суспензионной полимеризации, который будет реализован на Амурском ГХК после ввода предприятия в эксплуатацию.

Выделены три основных направления утилизации разных видов технологических отходов: вторичная переработка и рециклинг, сжигание с целью выделения энергии и захоронение на полигонах. В процессе проведения анализа образующихся твёрдых отходов и существующих методов их утилизации, был выявлен самый эффективный метод – вторичная переработка полимерных отходов.

Метод вторичной переработки является самым выгодным, т. к. позволяет минимизировать количество нереализованных отходов, экономить первичное сырьё и развивать технологии производства вторичных и смешанных полимеров. Процессы сбора, сортировки и переработки отходов создают новые рабочие места, способствуя развитию экономики и повышению уровня занятости в регионе.

Захоронение отходов на полигонах является самым невыгодным методом, т.к. отходы не реализуются повторно, а только образуют полигоны, которые занимают значительные площади. С увеличением количества отходов выгодность и простота использования полигонов встает под сомнение, т.к. появляются экологические и экономические проблемы, в том числе загрязнение почвы и грунтовых вод.

					<i>ВКР.115238.180301.ПЗ</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Шамина М.А.</i>			<i>Анализ способов утилизации твёрдых отходов полимерных производств</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Пров.</i>		<i>Охотникова Г.Г.</i>				<i>У</i>	<i>53</i>	<i>63</i>
<i>Н контр.</i>		<i>Родина Т.А.</i>				<i>АмГУ, ИКуИН гр. 0107-об</i>		
<i>Зав. каф.</i>		<i>Гужель Ю.А.</i>						

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1 Delovoy profil [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://delprof.ru/press-center/open-analytics/krupneyshie-proizvoditeli-polietilena-v-rossii/> – 16.04.2024.

2 Амурский ГХК [Электронный ресурс] : офиц. сайт – Режим доступа : <https://amur-gcc.ru/> – 15.04.2024.

3 СИБУР.ру [Электронный ресурс] : офиц. сайт – Режим доступа : <https://www.sibur.ru/ru/about/> – 15.04.2024.

4 Proplast.ru [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://proplast.ru/articles/polietilen-svoystva-tehnologiya-polucheniya/> – 17.04.2024.

5 Волжский завод полимеров [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://vzp-nn.ru/articles/polimernye-materialy/> – 16.04.2024.

6 Вторая индустриализация.рф [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://втораяиндустриализация.рф/etilen-eten-poluchenie-svoystva-himicheskie-reaktsii/> – 18.04.2024.

7 Энциклопедия wiki.MPlast.by [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://mplast.by/encyklopedia/-polipropilen/> – 18.04.2024.

8 Neftegaz.ru [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://neftegaz.ru/tech-library/neftekhimiya/698938-propilen/> – 19.04.2024.

9 Плотность плёнки полиэтиленовой [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://tagankapremiumservice.ru/spravochnye-materialy/plotnostplenki.html> – 21.04.2024.

10 ГОСТ 16338-85. Полиэтилен низкого давления Технические условия. – введ. 1987–01–01 – Государственный комитета СССР по стандартам ; М. : Стандартиформ, 2005. – 35 с.

					<i>ВКР.115238.180301.ПЗ</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Шамина М.А.</i>			<i>Анализ способов утилизации твёрдых отходов полимерных производств</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Пров.</i>		<i>Охотникова Г.Г.</i>				<i>У</i>	<i>54</i>	<i>63</i>
<i>Н контр.</i>		<i>Родина Т.А.</i>				<i>АмГУ, ИКиИН гр. 0107-об</i>		
<i>Зав. каф.</i>		<i>Гужель Ю.А.</i>						

11 Simplepro.com [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://simplepro.com/blog/polipropilen-v-sovremennom-proizvodstve/> – 21.04.2024.

12 Ниотекс: производственная компания [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://nioteks.ru/articles/polipropilen-svoystva-i-primeneniye/> – 15.04.2024.

13 Зезин, А. Б. Полимеры и окружающая среда / А. Б. Зезин // Соросовский образовательный журнал. – 2006. – № 2. – С. 57-64.

14 Мантия, Ф. Л. Вторичная переработка пластмасс / Ф. Л. Мантия. СПб : Профессия, 2007. – 400 с.

15 Росприроднадзор.ру [Электронный ресурс] : офиц. сайт – Режим доступа : <https://rpn.gov.ru/fkko/33510000000/> – 21.05.2024.

16 Семенова, Н. В. Промышленная экология. / Н. В. Семенова. М : Изд. центр «Академия», 2009. – 528 с.

17 Cleanbin.ru [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://cleanbin.ru/terms/landfill> – 18.04.2024.

18 Белокурова, А. П. Химия и технология получения полиолефинов: учебное пособие / А. П. Белокурова, Т. А. Агеева; под ред. О. И. Койфмана. Иван. гос. хим.-технол. ун-т. – Иваново, 2011. – 126 с.

19 Федеральный закон от 24 июня 1998 г. № 89-ФЗ (в ред. от 07.04.2020) «Об отходах производства и потребления»

20 Распоряжение Правительства РФ от 25 июля 2017 г. № 1589-р «Об утверждении перечня видов отходов производства и потребления, в состав которых входят полезные компоненты, захоронение которых запрещается» : утв. распоряжением Правительства Российской Федерации 25 июля 2017 г.

21 Филимонов, О. В. Особенности ПЭТ-тары как вторичного антропогенного сырья и ценообразование в сфере ее переработки / О. В. Филимонов // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 2

22 Вторичная переработка полимеров и создание экологически чистых полимерных материалов [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://docs.yandex.ru/docs/view1714978558> – 14.05.2024.

					<i>ВКР.115238.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		55

23 Учет затрат на производство продукции [Электронный ресурс] : «Клобби». – Режим доступа : <https://clobi.com/ru/products/charges>. – 11.05.2024.

24 Оборудование для переработки пластика (пластмасс) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://polimech.ru/oborudovanie-dlya-pererabotki-plastik> – 17.05.2024.

25 ГородРабот.ру [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://gorodrabot.ru/> – 17.05.2024.

26 Тарифы для юридических лиц: Амурская область, 2024 г. [Электронный ресурс] : ДЭК. – Режим доступа : <https://www.dvec.ru/organisations/tariffs/-amur/> – 20.05.2024.

27 Коробкин, В. И. Экология / В. И. Коробкин, Л. В. Передельский. Ростов на Дону : Феникс, 2012. – 601 с.

28 Федеральный закон от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ (ред. от 10.01.2002) «Об охране окружающей среды».

29 «Трудовой кодекс Российской Федерации» от 30 декабря 2001 г. № 197-ФЗ (ред. от 06.04.2024).

30 Приказ Минтруда и Социальной защиты Российской Федерации от 16 ноября 2020 г. № 781н (Зарегистрировано в Минюсте России 18.12.2020 № 61547) «Общие требования по охране труда для работников, занятых в производстве цемента и утилизации отходов».

					<i>ВКР.115238.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						56
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

Таблица А.1 – Перечень отходов, образующихся при эксплуатации установки полимеризации основного производства Амурского ГХК

Наименование отходов	Место образования	Класс опасности	Состав	Компонентное содержание, % масс	Количество, т/год	Периодичность образования / накопления
1	2	3	4	5	6	7
<b>Подготовка сырья полимеризации</b>						
Отработанный адсорбент (оксид алюминия)	Адсорбер этилена	III	Оксид алюминия	98,7	6,965	1 раз в 4 года
			Оксид палладия	1,0		
			Углеводороды	0,3		
	Адсорбер сомономера	IV	Молекулярное сито	99,8	6,075	
			Углеводороды	0,2	28,78	
			Оксид алюминия	99,8	0,2	
Адсорберы пентана	IV	Оксид алюминия	99,0	13,365		
		Вода	0,8			
Адсорберы азота от H <sub>2</sub> O и CO <sub>2</sub>	IV	Углеводороды	0,2	2,312		
		Алюминия оксид	100	4,082		
Сорбент на основе оксида цинка отработанный	Адсорбер этилена от СО	III	Алюминия оксид	95	1,565	
			Сероводород	5		
Адсорберы азота от H <sub>2</sub> O и СО	III	III	Меди оксид	30,0	21,56	
			Цинка оксид	62,0		
Отработанные фарфоровые шары	Адсорберы пентана	IV	Натриевый бентонит	7,7	3,266	
			Углеводороды	0,3		
			Меди оксид	30		
			Цинка оксид	62		
Адсорберы пентана	IV	IV	Натриевый бентонит	8	1,368	
			Фарфор	99,7		3,193
			Углеводороды	0,3		0,845
						0,24

<i>ВКР.115238.180301.ПЗ</i>				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Шамина М.А.		
Пров.		Охотникова Г.Г.		
И контр.		Родина Т.А.		
Зав. каф.		Гужель Ю.А.		
<i>Анализ способов утилизации твёрдых отходов полимерных производств</i>				
Лит.		Лист	Листов	
У		57	63	
<i>АмГУ, ИКиИН гр. 0107-об</i>				

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4	5	6	7
	Адсорберы азота от H <sub>2</sub> O и CO <sub>2</sub>				0,376	
	Адсорберы азота от H <sub>2</sub> O и CO				0,376	
	Адсорберы азота от H <sub>2</sub> S				0,12	
	Адсорберы азота для регенерации от H <sub>2</sub> S				0,11	
Производство ЛПЭНП						
Отработанные катализаторы Циглера	Система сбора технологических сдувок	I	Диоксид кремния	67,60	0,18	1 раз в 2 года
			Триэтилалюминий	14,60		
			Тетрахлорид титана	5,20		
			Трифторид бора	4,70		
			Тетрагидрофуран	3,63		
			Гексан	1,40		
			Керосин	0,99		
			Пентан	0,66		
			Толуол	0,47		
			Диметилбензол	0,42		
			Гептан	0,33		
			Диоксид кремния	84,18		
			Тетрахлорид титана	5,82		
			Гексан	0,90		
			Триоксид хрома	2,10		
			Диоксид титана	3,50		
			Алюминия оксид	3,50		
Отработанный фильтрующий материал	Технологические сдувки	II	Диоксид кремния	6,76	0,1	1 раз в 4 года
			Триэтилалюминий	1,46		
			Тетрахлорид титана	0,52		
			Трифторид бора	0,47		
			Тетрагидрофуран	0,36		
			Гексан	0,14		
			Керосин	0,10		
			Пентан	0,07		
			Толуол	0,05		
			Диметилбензол	0,04		
			Гептан	0,03		
			Нержавеющая сталь	90,00		
	Ввод катализатора	III	Диоксид кремния	8,7	0,025	
			Триоксид хрома	0,3		
			Диоксид титана	0,5		
			Алюминия оксид	0,5		
			Нержавеющая сталь	90,0		
	Дегазация и рециркуляция	IV	Полиамид	45	0,75	
			Углеродистая сталь	45		
			Порошок полиэтилена	9		
			Углеводороды	1		

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

ВКР.115238.180301.ПЗ

Лист

58

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4	5	6	7
Отработанные картриджи	Дегазация и рециркуляция		ПТФЭ Углеродистая сталь Порошок полиэтилена	45 45 10	0,015	1 раз в 4 года
	Ввод добавок, гранулирование и гомогенизация	V	Нержавеющая сталь	100		
	Упаковка и отгрузка					
	Вспомогательные системы. Факельная установка	IV	Нержавеющая сталь Углеводороды	90 10	0,01	1 раз в год
Производство ПЭВП						
Пыли полиэтилена	Упаковка и отгрузка. Циклон обеспыливания	IV	Полиэтилен (порошок)	100	120	Постоянно
	Вспомогательные системы. Сборник порошка полиэтилена				1,2	1 раз в 2 года
Лом и отходы изделий из полиэтилена незагрязненные. Просыпи от экструдера	Ввод добавок, гранулирование и гомогенизация. Вибросито и вибросито гранул	V	Полиэтилен	100	784	Постоянно
	Аппарат осушки гранул. Резервуар воды гранулирования				0,25	1 раз в неделю
Пыль добавок экструзии	Ввод добавок гранулирование и гомогенизация. Фильтры узла разгрузки добавок	III	Стеарат кальция Стеарат цинка Оксид цинка Диоксид кремния (аморфный)	83,84 6,81 0,90 8,45	0,45	Периодически (1 операция в 5 недель)
	Ввод добавок гранулирование и гомогенизация.				0,1	1 раз в 4 года

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

ВКР.115238.180301.ПЗ

Лист

59

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4	5	6	7								
	Шнековые питатели добавок													
Отработанный фильтрующий материал	Емкость загрузки активатора катализатора	IV	Диоксид кремния аморфный	8,5	0,1									
	Внутренний фильтр катализатора		Триоксид хрома	0,3										
			Диоксид титана	0,6										
	Внешний фильтр активатора	Оксид алюминия	0,6	90,0										
		Полипропилен	90,0											
	Фильтр системы транспортировки катализатора	Фильтр системы транспортировки катализатора	III	н-Гексан, гексан	8,5	0,4								
				Трихлорид алюминия	0,2									
				Хлорид магния	0,3									
				Алкилы	0,5									
				Алюминия бутил бензоат	0,5									
	Металлокерамика	90,0												
Фильтр верхнего погона сепаратора ВД	Испаритель пробы первого реактора	IV	Полипропилен	90	0,05									
							Пыль полиэтилена	10						
									Фильтры роторного питателя					
											Фильтры дегазатора			
													Фильтры сдувок сило-са порошка	
Фильтры сдувок подачи добавок	III	Полипропилен	90,0	0,24	1 операция в 5 недель									
			Стеарат кальция			7,6								
Фильтры на входе воздушной подачи гранул	IV	Полипропилен	90	0,015	1 раз в 4 года									
			Пыль полиэтилена			10								
							Полипропилен	90						
Фильтры вентилятора обеспыливания		Атмосферная пыль	10	0,1	1 раз в год									

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

ВКР.115238.180301.ПЗ

Лист

60

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4	5	6	7
	Фильтры на входе обеспыливателей					
	Фильтры воздуходувки смеси гранул					
	Фильтр сборника для разгрузки контейнеров					
	Фильтр системы разгрузки контейнеров					
Отработанные картриджи	Фильтры обратного потока компрессора системы пневмотранспорта порошка		Полипропилен Пыль полиэтилена	90 10	0,05	1 раз в 4 года
	Фильтры верхнего погона LPSR					
	Фильтры верхнего погона HPSR					
	Фильтры на входе воздуходувки гранул				0,015	
Отработанный адсорбент	Адсорбер этилена	III	Оксид алюминия	84,0	5	
	Осушитель изобутана		Вода	0,8		
	Адсорбер очистки изобутана от серы		Углеводороды	0,2	Керамика	
Цеолит отработанный, загрязненный опасными веществами (молекулярные сита)	Адсорберы сомомера	IV	Цеолит	99,0	0,25	
Шлам полиэтилена	Аварийная ёмкость реактора (сброс от предохра-		Изобутан + гексан	10	122,4	Эпизодически
			Полиэтилен	90		

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

ВКР.115238.180301.ПЗ

Лист

61

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4	5	6	7
	нительного клапана)					
Пыль полиэтилена из фильтров вода гранулирования	Фильтры воды гранулирования		Полиэтилен	100	0,1	1 раз в 2 года
Пыль добавок экструзии	Система питателей компонентных поставок	III	Стеарат кальция Стеарат цинка Диоксид кремния Вода 2,5-диметилгексан Полипропилен	60 7 24 6 0,23 2,77	0,606	1 раз в неделю
Активированный и неактивированный хромовый катализатор	Сепаратор активатора		Диоксид кремния Триоксид хрома Диоксид титана Оксид алюминия	87 3 5 5		
Катализатор Циглера отработанный	Сепаратор активатора	II	н-Гексан, гексан Трихлорид магния Хлорид магния Алкилы Алюминия бутил бензоат	80 13 3 2 2	0,7	1 раз в год
Катализатор хромовый отработанный	Сепаратор активатора	III	Диоксид кремния Триоксид хрома Диоксид титана Оксид алюминия	87 3 5 5		
<b>Прочие отходы производства</b>						
Металлические бочки с остатками веществ	Полимеризация	IV	Керосин Диметилбензол Тара металлическая	1,4 0,6 98,0	56,4	Периодически (3 – 4 шт/сут)
	Полимеризация		Хлорбутан Тара металлическая	2 98		
	Ввод добавок, гранулирование и гомогенизация. Система смазочного масла экструдера		Смазочное масло Тара металлическая	4 96	3,4	1 раз в 4 года
	Ввод добавок, гранулирование и гомогенизация. Система горячего масла экструдера		Дебензилметилбензол Тара металлическая	4 96		

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

ВКР.115238.180301.ПЗ

Лист

62

Продолжение таблицы А.1

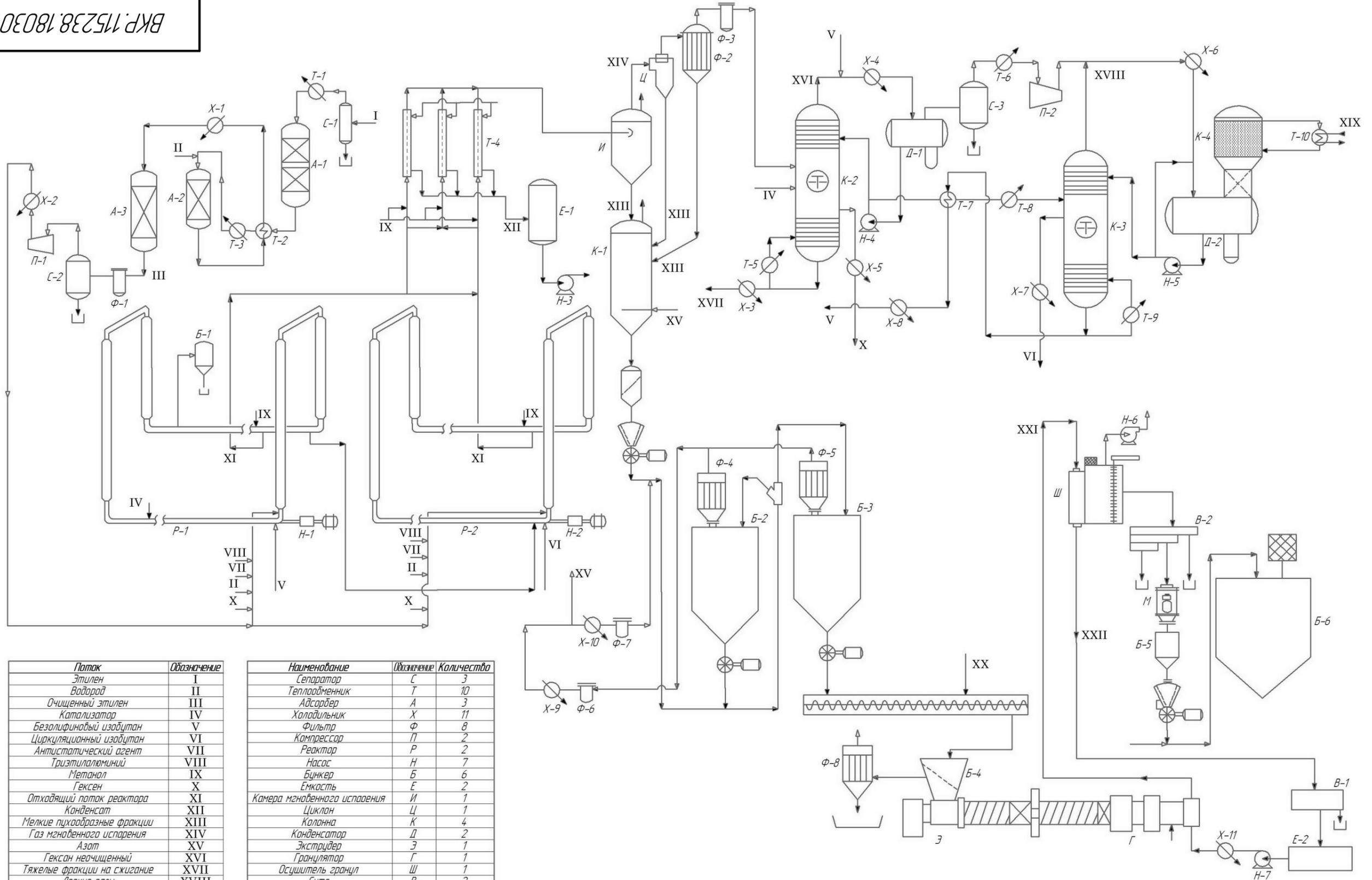
1	2	3	4	5	6	7
	Насосное оборудование		Индустриальное масло Тара металлическая	4 96	0,6	
	Компрессорное оборудование		Компрессорное масло Тара металлическая	4 96	0,75	
	Экструдер		Гидравлическое масло Тара металлическая	4 96	0,25	
Отходы тары, упаковки и упаковочных материалов из полиэтилена не загрязненные	Ввод добавок, гранулирование и гомогенизация. Узел разгрузки добавок		Пыль добавок, в т.ч.: Стеарат кальция Стеарат цинка Оксид цинка Диоксид кремния Полиэтилен	1,51 0,12 0,02 0,15 98,20	9,6	Постоянно
Использованная полиэтиленовая тара с остатками	Адсорбер этилена		Пластмассовая тара Оксид алюминия актив.	99 1	0,019	1 раз в 4 года
	Адсорберы сомономера		Пластмассовая тара Цеолит	99 1	0,0185	
	Осушитель изобутана		Пластмассовая тара Оксид алюминия актив.	99 1	0,0095	
	Адсорбер очистки изобутана от серы					
Использованные мягкие контейнеры с остатками добавок	Адсорбер очистки изобутана от серы	V	Пластмассовая тара Пыль добавок, в т.ч.: Стеарат кальция Стеарат цинка Диоксид кремния Вода	99,900 0,076 0,012 0,010 0,002	0,235	Ежедневно
Использованная тара с остатками			Диоксид кремния аморфный Вода Пластмассовая тара	0,08 0,02 99,90	1,32	
		IV	Углерод черный Пластмассовая тара	0,1 99,9	3,22	
			Диоксид кремния аморфный Триоксид хрома Диоксид титана Оксид алюминия Вода Пластмассовая тара	0,00850 0,00100 0,00015 0,00015 0,00020 99,90000	0,98	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

ВКР.115238.180301.ПЗ

Лист

63



Поток	Обозначение
Этилен	I
Водород	II
Очищенный этилен	III
Катализатор	IV
Безалцифиновый изобутан	V
Циркуляционный изобутан	VI
Антистатический агент	VII
Триэтилалюминий	VIII
Метанол	IX
Гексен	X
Отходящий поток реактора	XI
Конденсат	XII
Мелкие пухобразные фракции	XIII
Газ мгновенного испарения	XIV
Азот	XV
Гексан неочищенный	XVI
Тяжелые фракции на сжигание	XVII
Легкие газы	XVIII
Пропан	XIX
Твердые присадки	XX
Полимерные гранулы в водной суспензии	XXI
Вода	XXII

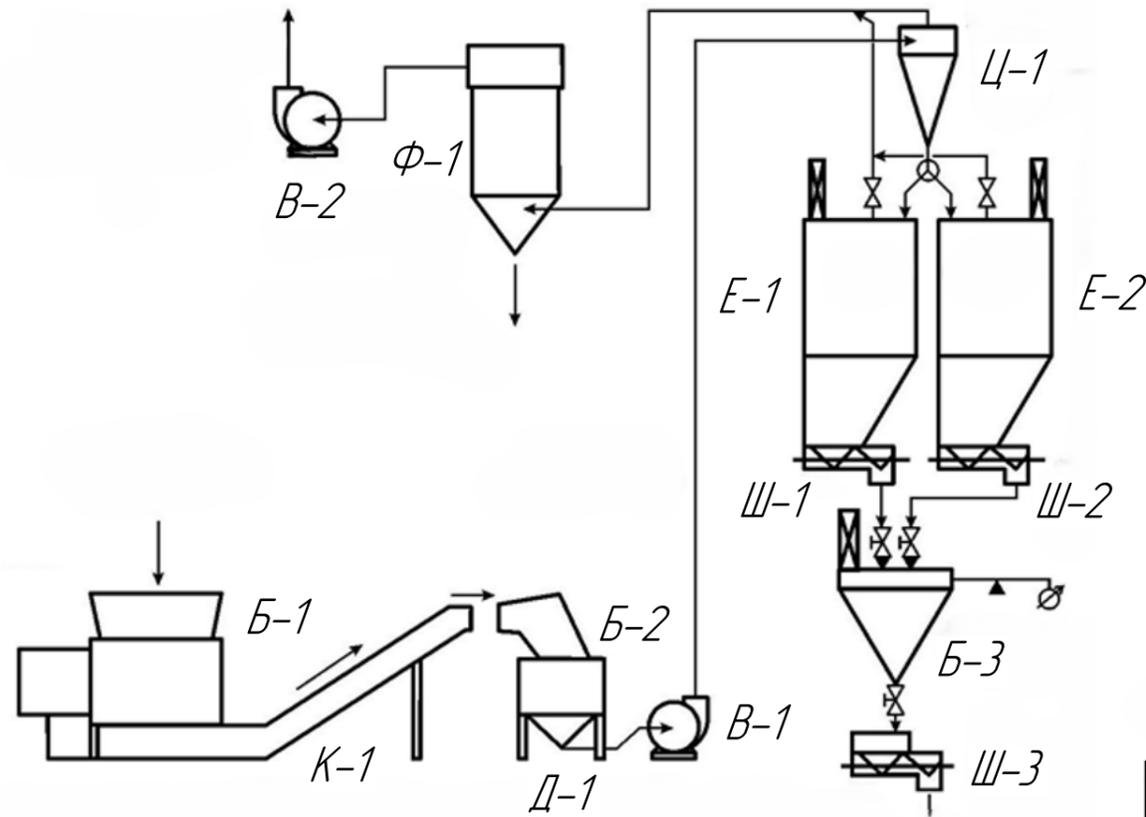
Наименование	Обозначение	Количество
Сепаратор	С	3
Теплообменник	Т	10
Адсорбер	А	3
Холодильник	Х	11
Фильтр	Ф	8
Компрессор	П	2
Реактор	Р	2
Насос	Н	7
Бункер	Б	6
Емкость	Е	2
Камера мгновенного испарения	И	1
Циклон	Ц	1
Колонна	К	4
Конденсатор	Д	2
Экструдер	Э	1
Гранулятор	Г	1
Осушитель гранул	Ш	1
Сита	В	2
Расходомер гранул	М	1

ВКР.115238.180301.ТС				Лит.	Масса	Масштаб
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		
Разраб.	Шамина М.А.					1:1
Пров.	Охотникова Г.Г.					
Т.контр.					Лист	Листов 1
Н.контр.	Родина Т.А.				АМГУ, ИКВИН	
Утв.	Гижель Ю.А.				гр. 0107-об	
Технологическая схема получения ПЭВП суспензионным методом						Формат А3
Копировал						

ВКР.115238.180301.ТС

Перв. примен.

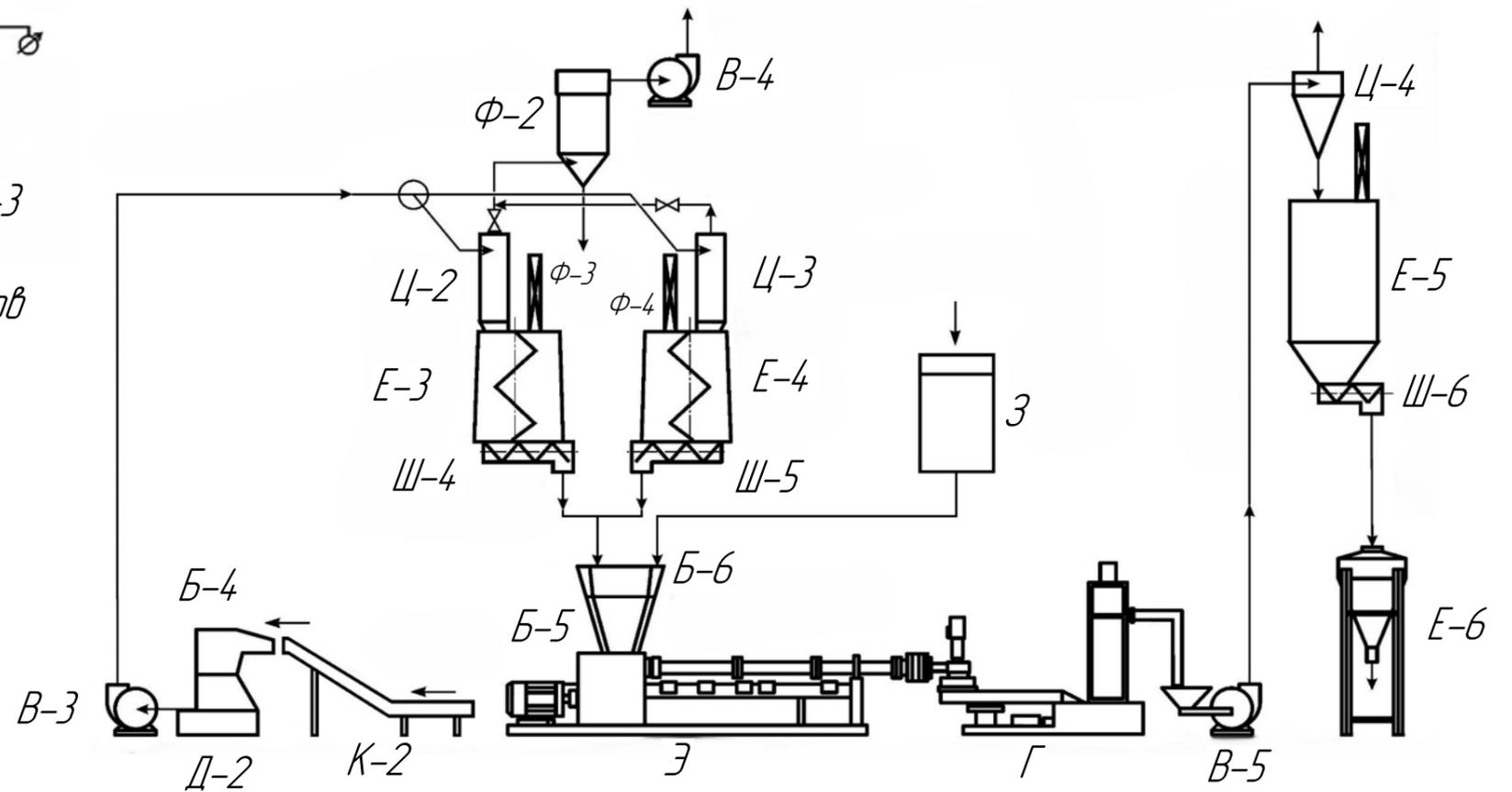
Справ. №



Линия двухстадийного измельчения полимерных отходов

Наименование	Обозначение	Количество
Бункер	Б	6
Ленточный конвейер	К	2
Дробилка	Д	2
Вентилятор	В	5
Циклон	Ц	4
Фильтр	Ф	4
Емкость	Е	6
Шнек	Ш	6
Вакуумный загрузчик	З	1
Экструдер	Э	1
Гранулятор	Г	1

Линия производства гранулированных вторичных полимеров



ВКР.115238.180301.ТС							
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата			
		Шамина М.А.					
		Охотникова Г.Г.					
		Родина Т.А.					
		Гижель Ю.А.					
Анализ способов утилизации твердых отходов полимерных производств					Лист	Масса	Масштаб
							1:1
Технологическая схема вторичной переработки твердых полимерных отходов					Лист	Листов	1
					АмГУ, ИКИИИ		
Копировал					Формат А3		

## СПРАВКА

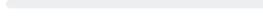
о результатах проверки текстового документа  
на наличие заимствований

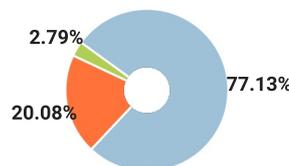
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
"АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ"

### ПРОВЕРКА ВЫПОЛНЕНА В СИСТЕМЕ АНТИПЛАГИАТ.ВУЗ

**Автор работы:** Шамина Марьяна Алексеевна  
**Самоцитирование**  
**рассчитано для:** Шамина Марьяна Алексеевна  
**Название работы:** Шамина ВКР  
**Тип работы:** Выпускная квалификационная работа  
**Подразделение:** Кафедра химии и химической технологии

### РЕЗУЛЬТАТЫ

СОВПАДЕНИЯ		20.08%
ОРИГИНАЛЬНОСТЬ		77.13%
ЦИТИРОВАНИЯ		2.79%
САМОЦИТИРОВАНИЯ		0%



ДАТА ПОСЛЕДНЕЙ ПРОВЕРКИ: 29.05.2024

### Структура документа:

Проверенные разделы: приложение с.75-84, библиография с.72-74, основная часть с.1-71

### Модули поиска:

ИПС Адилет; Сводная коллекция ЭБС; Цитирование; Перефразирования по коллекции IEEE; Библиография; Перефразированные заимствования по коллекции Интернет в английском сегменте; Переводные заимствования\*; Коллекция НБУ; Кольцо вузов; IEEE; Публикации eLIBRARY; СМИ России и СНГ; Патенты СССР, РФ, СНГ; Диссертации НББ; Медицина; Переводные заимствования по Интернету (EnRu); Переводные заимствования IEEE; СПС ГАРАНТ: аналитика; Переводные заимствования (RuEn); Публикации eLIBRARY (переводы и перефразирования); Публикации РГБ; Перефразированные заимствования по коллекции Интернет в русском сегменте; Переводные заимствования по коллекции Гарант: аналитика; Перефразирования по СПС ГАРАНТ: аналитика; Переводные заимствования по коллекции Интернет в английском

### Заключение о работе (оценка):

\_\_\_\_\_

### Работу проверил:

Охотникова Галина Генриховна

ФИО проверяющего

### Дата подписи:

\_\_\_\_\_

Подпись проверяющего



Чтобы убедиться  
в подлинности справки, используйте QR-код,  
который содержит ссылку на отчет.

Ответ на вопрос, является ли обнаруженное заимствование  
корректным, система оставляет на усмотрение проверяющего.  
Предоставленная информация не подлежит использованию  
в коммерческих целях.