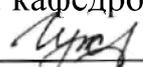


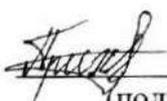
Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ФГБОУ ВО «АмГУ»)

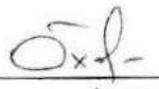
Факультет инженерно-физический
Кафедра химии и химической технологии
Направление подготовки 18.03.01 – Химическая технология
Направленность (профиль) образовательной программы Химическая
технология природных энергоносителей и углеродных материалов

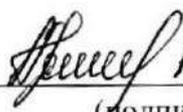
ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Зав. кафедрой
 Ю.А. Гужель
«28» июня 2021 г.

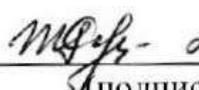
БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему: Разработка технологии переработки ПЭТ-тары

Исполнитель
студент группы 718-об  18.06.2021 К.С. Приходько
(подпись, дата)

Руководитель
доцент, канд. техн. наук  18.06.2021 Г.Г. Охотникова
(подпись, дата)

Консультант
по безопасности
жизнедеятельности
доцент, канд. техн. наук  18.06.21 А.В. Козырь
(подпись, дата)

Нормоконтроль
проф., док. хим. наук  23.06.21 Т.А. Родина
(подпись, дата)

Благовещенск 2021

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

Факультет Инженерно-физический
Кафедра Химии и химической технологии

УТВЕРЖДАЮ
Зав. кафедрой
_____ Ю.А. Гужель
« ____ » _____ 20__ г.

З А Д А Н И Е

К выпускной квалификационной работе студента Приходько Кирилла Сергеевича

1. Тема выпускной квалификационной работы: «Разработка технологии переработки ПЭТ-тары» утверждена Приказом от 23.04.2021 г № 812-уч
 2. Срок сдачи студентом законченной работы 29.06.2021 г.
 3. Исходные данные к выпускной квалификационной работе: Производительность экструдера – 1 364 т/год. Годовое время работы линии – 2 728 часов. Литературные данные.
 4. Содержание выпускной квалификационной работы (перечень подлежащих разработке вопросов): Литературный обзор по процессам производства полиэтилентерефталата и его вторичной переработки. Характеристика сырья и готовой продукции. Разработка технологической схемы линии по переработки ПЭТ тары, ее описание. Составление материального баланса производства. Технологический расчет оборудования – экструдер. Оценка воздействия предлагаемой технологии на окружающую среду. Оценка экономической эффективности проектируемой линии.
 5. Перечень материалов приложения: Технологическая схема линии.
 6. Консультанты по выпускной квалификационной работе Козырь А. В., канд. техн. наук, доцент; раздел «Безопасность и экологичность производства»
 7. Дата выдачи задания 14.05.2020 г.
- Руководитель выпускной квалификационной работы: Охотникова Галина Генриховна, доцент, канд. техн. наук, доцент

Задание принял к исполнению 14.05.2020 г. _____

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 58 с., 1 рисунок, 20 таблиц, 26 источников.

ПЕРЕРАБОТКА, ВТОРИЧНОЕ СЫРЬЕ, ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТ, ПРОИЗВОДСТВО, ЭКСТРУЗИЯ, ФЛЕКСА, ГРАНУЛЯТ

В работе представлена технологическая линия для вторичной переработки ПЭТ тары, а также рассмотрен процесс производства полиэтилентерефталата.

В ходе работы изучены характеристики сырья и требования к готовой продукции. Составлен материальный баланс проектируемого производства, выполнен расчет основного экструзионного аппарата и осуществлен подбор оборудования для подготовки сырья к переработке. Разработана производственная линия, предназначенная для переработки использованной ПЭТ тары во вторичный гранулят.

Также была выполнена оценка экономической эффективности вторичной переработки ПЭТ тары, разработана технологическая схема производственной линии и составлено ее описание.

					<i>ВКР.171052.180301.ПЗ</i>		
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>			
<i>Разраб.</i>	<i>Приходько К.С.</i>				<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Пров.</i>	<i>Охотникова Г.Г.</i>				<i>У</i>	<i>З</i>	<i>58</i>
<i>Консульт.</i>	<i>Козырь А.В.</i>				<i>АМГУ ИФФ гр. 718-об</i>		
<i>Н. контр.</i>	<i>Родина Т.А.</i>						
<i>Зав. каф.</i>	<i>Гужель Ю.А.</i>						
<i>Разработка технологии переработки ПЭТ тары</i>							

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	6
1 Литературный обзор	7
1.1 Общая характеристика полиэтилентерефталата	7
1.2 Исходное сырье	9
1.3 Производство полиэтилентерефталата	10
1.3.1 Этерификация терефталевой кислоты этиленгликолем	10
1.3.2 Поликонденсация дигидроксиэтилентерефталата	11
1.3.3 Завершающие стадии	12
1.4 Факторы влияющие на вязкость ПЭТ	13
1.5 Вторичная переработка ПЭТ	14
1.5.1 Организация сбора вторичного сырья и очистка отходов от примесей	15
1.5.2 Термические способы переработки пластиковых отходов	17
1.5.3 Химические способы переработки ПЭТ	18
1.5.4 Механические способы переработки ПЭТ	21
1.5.5 Выбор приоритетной технологии переработки	24
1.5.6 Экологические аспекты переработки ПЭТ	25
2 Технологическая часть	26
2.1 Характеристика сырья	26
2.2 Характеристика готовой продукции	27
2.3 Описание технологической схемы	28
2.4 Расчет материального баланса	32
2.5 Технологический расчет экструдера	35
2.6 Подбор оборудования для подготовки сырья к переработке	41
3 Безопасность и экологичность производства	47

					<i>ВКР.171052.180301.ПЗ</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>	<i>Приходько К.С.</i>				<i>Разработка технологии переработки ПЭТ тары</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Пров.</i>	<i>Охотникова Г.Г.</i>					<i>У</i>	<i>4</i>	<i>58</i>
<i>Консульт.</i>	<i>Козырь А.В.</i>					<i>АМГУ ИФФ гр. 718-об</i>		
<i>Н. контр.</i>	<i>Родина Т.А.</i>							
<i>Зав. каф.</i>	<i>Гужель Ю.А.</i>							

3.1 Воздействие на окружающую среду жидких отходов в условиях аварийной и безаварийной эксплуатации	47
3.2 Мероприятия по предупреждению попадания сточных вод в окружающую среду	48
3.3 Мероприятия по очистке оборотной воды	48
4 Экономическое обоснование	50
4.1 Расчет капитальных затрат	50
4.2 Расчет операционных расходов	51
4.3 Расчет рентабельности	54
Заключение	55
Библиографический список	56

					<i>ВКР.171052.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		5

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время использованные полимерные изделия составляют значительную долю всего мусора. Ситуация с загрязнением окружающей среды пластиковыми отходами – одна из наиболее актуальных проблем нашего времени, ведь они очень долго разлагаются, а при сжигании выделяют крайне токсичные вещества.

Расширение масштабов переработки пластмассового вторичного сырья сдерживается рядом факторов. Основные процессы переработки требуют отделения пластмасс от других отходов, а также их сортировки и очистки, что ведет к росту издержек производства. Оптимальные методы переработки и утилизации отходов полиэтилентерефталата подбираются в зависимости от качества перерабатываемого сырья, его количества и требуемых свойств конечного продукта.

Цель выпускной квалификационной работы – разработка наиболее оптимальной, в условиях региона, технологической линии по переработке ПЭТ тары во вторичную гранулу.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи: изучить основные свойства полиэтилентерефталата; проанализировать возможные методы переработки ПЭТ тары во вторичное сырье и определить наиболее подходящий; изучить характеристики сырья и готовой продукции; разработать технологическую схему процесса; проанализировать отечественный рынок оборудования для переработки полимеров и произвести подбор необходимых аппаратов; произвести технологический расчет экструдера; произвести оценочный экономический расчет, позволяющий судить о рентабельности вторичной переработки ПЭТ тары.

					<i>ВКР.171052.180301.ПЗ</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>	<i>Приходько К.С.</i>				<i>Разработка технологии переработки ПЭТ тары</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Пров.</i>	<i>Охотникова Г.Г.</i>					<i>У</i>	<i>6</i>	<i>58</i>
<i>Консульт.</i>	<i>Козырь А.В.</i>					<i>АМГУ ИФФ зр. 718-об</i>		
<i>Н. контр.</i>	<i>Родина Т.А.</i>							
<i>Зав. каф.</i>	<i>Гужель Ю.А.</i>							

1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

1.1 Общая характеристика полиэтилентерефталата

Полиэтилентерефталат (ПЭТ) – линейный насыщенный термопластичный полиэфир на основе терефталевой кислоты и этиленгликоля, в основу производства которого заложен метод прямой этерификации терефталевой кислоты (ТФК) этиленгликолем (ЭГ) с последующей поликонденсацией образующегося дигликолевого эфира с образованием высокомолекулярного сложного полиэфира [1]. ПЭТ получил широкое коммерческое применение в виде изделий, изготавливаемых экструзией и литьем под давлением, пленок и синтетического волокна.

Полиэтилентерефталат обладает высокой механической прочностью и ударостойкостью, устойчивостью к истиранию и многократным деформациям при растяжении и изгибе и сохраняет свои высокие ударостойкие и прочностные характеристики в широком рабочем диапазоне температур. Присутствие кислорода в цепи придает полимеру хорошую морозостойкость (минус 70 °С), а наличие бензольного кольца – высокую теплостойкость (до 170 °С) [2]. Однако, для долгосрочного применения «на улице» этому материалу необходима защита от ультрафиолетового излучения. ПЭТ отличается низким коэффициентом трения, низкой гигроскопичностью и является хорошим диэлектриком. Его электрические свойства при температурах до 170 °С даже в присутствии влаги изменяются незначительно [3].

По внешнему виду и по светопропусканию (90 %) листы из ПЭТ аналогичны прозрачному оргстеклу (метилметакрилату) и поликарбонату. Однако по сравнению с оргстеклом у полиэтилентерефталата ударная прочность в 10 раз больше. По сопротивляемости агрессивным средам ПЭТ превосходит многие полимеры и обладает высокой химической стойкостью к кислотам, щело-

					<i>ВКР.171052.180301.ПЗ</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>	<i>Приходько К.С.</i>				<i>Разработка технологии переработки ПЭТ тары</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>58</i>
<i>Консульт.</i>	<i>Козырь А.В.</i>					<i>АМГУ ИФФ зр. 718-об</i>		
<i>Н. контр.</i>	<i>Родина Т.А.</i>							
<i>Зав. каф.</i>	<i>Гужель Ю.А.</i>							

чам, солям, спиртам, парафинам, минеральным маслам, бензину, жирам, эфиру. Имеет повышенную устойчивость к действию водяного пара. В то же время ПЭТ растворим в ацетоне, бензоле, толуоле, этилацетате, четыреххлористом углероде, хлороформе, метиленхлориде, метилэтилкетоне, и, следовательно, листы ПЭТ могут так же хорошо склеиваться, как оргстекло, полистирол и поликарбонат [4].

Листы из ПЭТ имеют незначительные внутренние напряжения, что делает процесс термоформования простым и высокотехнологичным. Предварительная сушка листов не требуется, теплоемкость листов из полиэтилентерефталата меньше, чем у полистирола и оргстекла, поэтому нагрев ПЭТ листов до температуры формования требует значительно меньшей тепловой энергии и времени. Все это снижает энергозатраты, а, следовательно, и себестоимость изготавливаемой продукции. Поэтому полиэтилентерефталат может быть хорошей заменой прозрачному сплошному поликарбонату в различных сооружениях и конструкциях, так как его стоимость значительно ниже.

Термодеструкция полиэтилентерефталата происходит в температурном диапазоне от 290 °С до 310 °С. Деструкция происходит статистически вдоль полимерной цепи. Основными летучими продуктами являются терефталевая кислота, уксусный альдегид и монооксид углерода. При 900 °С генерируется большое число разнообразных углеводородов. В основном летучие продукты состоят из диоксида углерода, монооксида углерода и метана.

Для повышения термо-, свето-, огнестойкости, для изменения цвета, фрикционных и других свойств в полиэтилентерефталат вводят различные добавки. Используют также методы химического модифицирования различными дикарбоновыми кислотами и гликолями, которые вводят при синтезе ПЭТ в реакционную смесь [5].

Особенностью ПЭТ является то, что получаемый на его основе вторичный материал в полной мере поддается переработке. Вторичный полиэтилентерефталат гомогенизируется значительно легче, чем другие пластмассы. Эти особенности ПЭТ позволили ему стать самым перерабатываемым на сегод-

					<i>ВКР.171052.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						8
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		

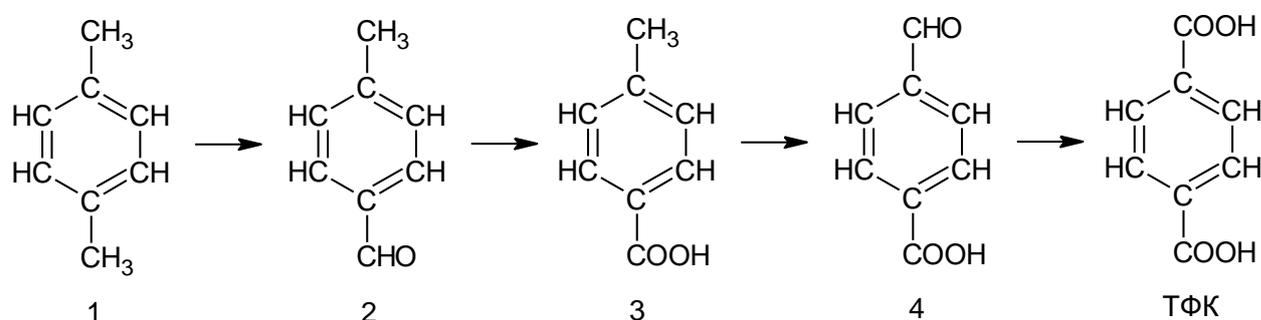
няшний день пластиком в мире с широкими возможностями последующего использования, начиная с упаковочных пленок и гранул, заканчивая предметами одежды. Наиболее часто отходы из полиэтилентерефталата используются для повторного производства пленок, волокон и пластиковых бутылок [6].

1.2 Исходное сырье

Основным сырьем для производства ПЭТ являются ТФК и ЭГ, получаемые из продуктов нефтепереработки и коксохимии.

Терефталевая кислота является бесцветным кристаллическим веществом, и по сравнению с изомерными ей фталевой и изофталевой кислотами она наиболее слабо растворима в органических жидкостях и воде. ТФК получают окислением п-ксилола, получаемого при каталитическом риформинге фракции прямогонного бензина. Окисление проводится воздухом при температуре от 125 °С до 275 °С и давлении до 40 атмосфер в растворе уксусной кислоты и катализатора (ацетаты марганца и кобальта).

При окислении п-ксилола протекает следующая последовательность превращений:

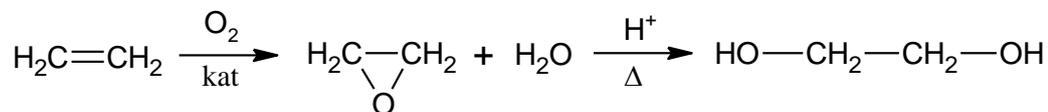


1 – п-ксилол; 2 – п-толуиловый альдегид; 3 – п-толуиловая кислота; 4 – п-карбоксибензальдегид; ТФК (п-бензолдикарбоновая кислота).

Этиленгликоль, являясь простейшим представителем многоатомных спиртов, представляет собой бесцветную прозрачную (в очищенном виде) гигроскопическую жидкость без запаха, слегка маслянистой консистенции, токсичен. Хорошо смешивается с водой, глицерином, ацетоном и различными спиртами, не растворяется в ароматических углеводородах. ЭГ получают прямым окислением этилена чистым кислородом или воздухом на серебряном катализаторе с последующей гидратацией полученного оксида в большом из-

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ВКР.171052.180301.ПЗ	9

бытке воды (позволяет минимизировать образование нежелательных гликолей) при температуре 200 °С и давлении 10 атмосфер или в присутствии серной кислоты (0,5 %) при температуре от 50 °С до 100 °С и атмосферном давлении:

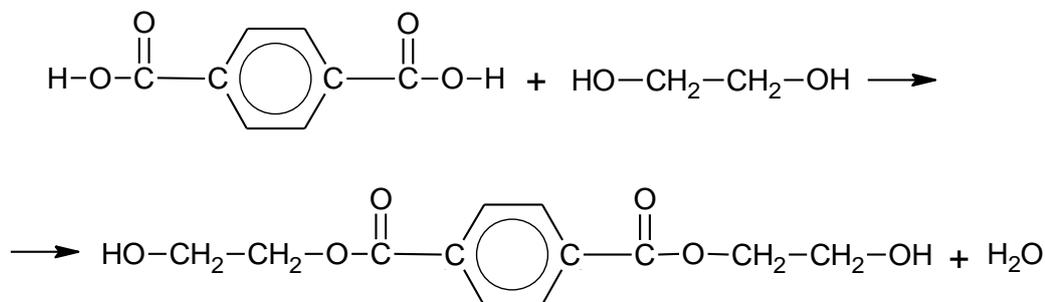


1.3 Производство полиэтилентерефталата

ПЭТ получают поликонденсацией ТФК или диметилтерефталата (ДМТ) с ЭГ по периодической или непрерывной схеме в две стадии. При использовании ДМТ образуется побочный продукт – метанол, который крайне ядовит и смертельно опасен [7].

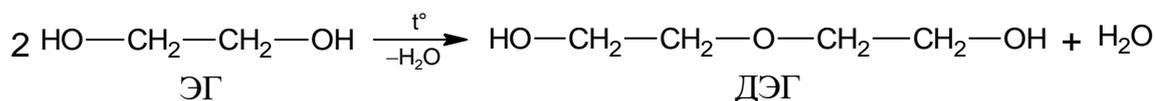
1.3.1 Этерификация терефталевой кислоты этиленгликолем

Первой стадией производства является этерификация ТФК этиленгликолем непрерывным способом. Суспензия терефталевой кислоты в ЭГ, поступающая на этерификацию, готовится в мольном соотношении от 1:1,2 до 1:2. Реакция протекает при температуре 280 °С. В результате образуется дигидроксиэтилентерефталат (ДГТ) [8]:



Реакция этерификации ТФК характеризуется слабым тепловым эффектом (4,18 кДж/моль), следовательно, для поддержания требуемой температуры процесса необходим дополнительный нагрев. Высокая температура способствует не только интенсификации реакции и удалению образующейся воды из этерификатора, но и протеканию побочных реакций. Протекающая при высокой температуре реакция межмолекулярной дегидратации приводит к образованию диэтиленгликоля (ДЭГ):

					ВКР.171052.180301.ПЗ	Лист
						10
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

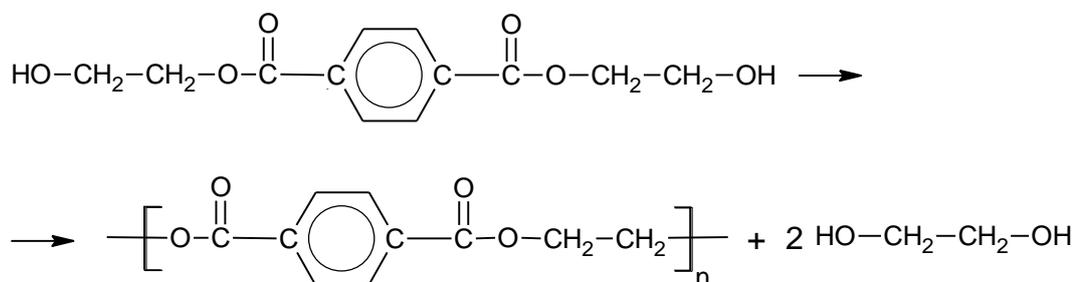


Возможно образование и других гликолей, однако их концентрация настолько мала, что обнаружение возможно только при использовании высокочувствительных методов анализа. В ряде случаев ДЭГ не является нежелательной примесью, его специально добавляют в полимер для придания ему требуемых специфических свойств.

Концентрация ДЭГ в полиэфире должна поддерживаться на уровне от 1,3 % до 1,7 % по массе. Выравнивание концентрации осуществляется добавлением ДЭГ в реакционную массу.

1.3.2 Поликонденсация дигидроксиэтилтерeftалата

На следующей стадии полученный дигидроксиэтилтерeftалат подвергают поликонденсации с образованием ПЭТ и регенерацией этиленгликоля. Одним из наиболее распространенных катализаторов является трехокись сурьмы. Эта реакция проводится при постепенном повышении температуры до 270 °С под вакуумом в нескольких последовательно расположенных аппаратах, снабженных перемешивающими устройствами:



Глубокий вакуум способствует испарению ЭГ. При температуре от 270 °С до 280 °С и остаточном давлении 2,8 мм рт. ст. этиленгликоль кипит при 47 °С. При таких условиях он должен улетучиваться из зоны реакции за очень короткий промежуток времени. Но даже в этих условиях ЭГ удаляется плохо. Увеличения скорости испарения ЭГ можно добиться путём проведения процесса в плёночном режиме. При толщине пленки полиэфира на греющей поверхности 250 мкм и менее скорость удаления ЭГ значительно повышается. Но создание плёнки расплава такой толщины потребует большой площади ва-

					ВКР.171052.180301.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		11

куумирования и нагрева. На практике такие условия создать очень сложно. На этой стадии применяется механическое перемешивание расплава в рабочей камере поликонденсатора. Этим достигается значительное увеличение поверхности испарения и её постоянное обновление.

Для достижения требуемой степени поликонденсации и заданных свойств ПЭТ в линию подвода реакционной массы подают необходимые добавки: диэтиленгликоль, раствор ортофосфорной кислоты в ЭГ, тонер. ДЭГ добавляют в реакционную смесь перед началом реакции поликонденсации с целью получения полиэфира с улучшенными потребительскими свойствами. Ортофосфорная кислота в процессе получения ПЭТ выполняет следующие функции: стабилизирует процесс поликонденсации; подавляет термическую деструкцию полиэфира; связывает продукты гидролиза диацетата кобальта(II) тетрагидрата и каталитического комплекса сурьмы. Тонер добавляется с целью получения требуемого цвета конечного ПЭТ.

1.3.3 Завершающие стадии

Расплав ПЭТ, поступающий на грануляцию из реактора–поликонденсатора, содержит механические примеси, которые необходимо отфильтровать. В состав примесей входят сурьма и её соли, соли кобальта (в случае применения тонера), продукты термической деструкции полиэфира, гелеобразный полиэфир.

Отфильтрованный расплав полиэтилентерефталата выдавливается из аппарата, охлаждается и гранулируется или направляется на формование волокна. От скорости охлаждения зависят конечные свойства продукта. При условии быстрого охлаждения полиэтилентерефталат становится аморфным, если охлаждение протекает медленно – кристаллическим. В аморфной форме полиэтилентерефталат имеет твёрдую и прозрачную структуру, тогда как кристаллический ПЭТ бесцветный и непрозрачный, хотя по-прежнему твёрдый. Отрегулировать уровень кристалличности можно посредством отжига, при этом температурный режим обработки должен варьироваться в пределах температуры плавления и стеклования. Промышленность, как правило, выпускает

					ВКР.171052.180301.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		12

ПЭТ в виде гранул размером от двух до четырех миллиметров. Матирующие агенты, красители, инертные наполнители (каолин, тальк), антипирены, термо- и светостабилизаторы и другие добавки вводят во время синтеза или в полученный расплав полиэтилентерефталата.

Для изготовления бутылок необходимо достичь подходящей степени полимеризации (молекулярной массы) ПЭТ. В рамках классического процесса высокая молекулярная масса при непрерывной полимеризации в расплаве не может быть достигнута, так как более длительное время пребывания в расплавленном состоянии вызывает экстенсивную деструкцию полимера. Вместо этого традиционно осуществляется вторичный процесс, известный как «процесс в твердом состоянии» (то есть поликонденсация в твердом состоянии), который включает высокотемпературную обработку гранул ПЭТ в течение длительного времени пребывания в сухой бескислородной среде, что стимулирует дальнейшую линейную поликонденсацию и дает полимер с более высокой молекулярной массой. Поликонденсация в твердом состоянии также удаляет газообразные продукты реакции и другие летучие вещества. Главным отличительным фактором этой стадии от поликонденсации в жидкой фазе является отсутствие свободного перемещения макромолекул полиэфира в массе полимера. Гидроксиэтильные окончания макромолекул полиэфира, находящиеся в непосредственной близости и сближающиеся в результате ограниченных колебаний участков полимерных цепей, реагируют с отщеплением молекулы этиленгликоля, удлиняя цепи макромолекул [9].

1.4 Факторы влияющие на вязкость ПЭТ

Существенное влияние на значение динамической вязкости ПЭТ оказывают следующие факторы: глубокий вакуум, время пребывания расплава в аппарате, степень заполнения реактора, частота вращения мешалки и высокая температура.

Глубокий вакуум способствует реакции поликонденсации и росту длины цепей макромолекул и его вязкости. Увеличение времени пребывания полиэфира в поликонденсаторе способствует завершению реакции поликонденса-

					<i>ВКР.171052.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						13
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		

ции и удалению ЭГ. Вязкость полиэфира будет расти, но при этом производительность реактора снизится. Этот фактор благоприятно влияет на процесс только при той частоте вращения, которая обеспечит максимальную поверхность раздела фаз – жидкой и паровой. Чем выше температура, тем выше скорость реакции поликонденсации. Расплав становится жидким и подвижным, и этиленгликоль быстро покидает зону реакции. Эти условия способствуют росту длины молекул полиэфира и его вязкости.

1.5 Вторичная переработка ПЭТ

Одна из самых актуальных современных проблем – предотвращение накопления отходов. Полимерные материалы составляют все большую долю в бытовых и промышленных отходах, поступающих на мусорные свалки. Благодаря высокой стойкости к воздействию окружающей среды данные материалы сохраняются в естественных условиях в течение длительного времени (например, ПЭТ в течение 80 лет).

Решением проблемы, позволяющим снизить негативное влияние на природу, может стать развитие и применение технологий вторичного использования полимерных отходов. Важными являются также экономические факторы утилизации этих отходов – сокращение использования первичных ресурсов, уменьшение потребления энергии, снижение себестоимости.

Во многих странах мира подобная утилизация полимерных материалов является прибыльным бизнесом, в то время как в России она на начальной стадии развития. Уровень сбора и переработки полимерных отходов в РФ составляет не более 20 % [10]. Одной из основных причин является отсутствие необходимой законодательной базы, которая бы позволяла эффективно применять рыночные механизмы и экономически стимулировать предприятия, занимающиеся утилизацией и использованием вторичных полимеров.

Выделяют несколько основных направлений переработки вторичного ПЭТ, которые условно можно разделить на три основные группы, представленные в таблице 1.

					<i>ВКР.171052.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						14
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		

Таблица 1 – Основные способы переработки ПЭТ.

Способ переработки	Степень загрязнения	Доля переработки, %
Механический	Низкая	70 - 75
Химический	Средняя, иногда сильная	5
Термический	Сильная	20 - 25

1.5.1 Организация сбора вторичного сырья и очистка отходов от примесей

Организация сбора и требуемой подготовки отходов полиэтилентерефталата к переработке является одним из серьезных экономических факторов формирования рынка вторичного ПЭТ. Дело в том, что для загрязненных и смешанных отходов затраты на их подготовку к использованию в качестве вторичного сырья могут превзойти стоимость первичного сырья. Увеличению затрат на сбор и переработку отходов полиэтилентерефталата способствует высокая доля ручного труда при сборе и сортировке отходов, использование во многих случаях импортного, т. е. более дорогостоящего оборудования, постоянный рост в последние годы затрат на энергоресурсы, высокий уровень налогообложения. Современные технологии и импортозамещение позволяют сократить расходы на сбор вторичного ПЭТ и снизить себестоимость флексы (промежуточного продукта переработки ПЭТ) до 50 %.

Как правило, предприятия, занятые непосредственной переработкой ПЭТ, не организывают самостоятельный сбор тары и ее сортировку от остальных твердых бытовых отходов (ТБО), а покупают сырье (в виде спрессованных в кипы бутылок) у заготовительных предприятий. Последние, в свою очередь, собирая и отсортировывая мусор как с общих контейнеров, так и с контейнеров для сбора пластиковых отходов, на выходе получают товарный продукт в виде спрессованных в кипы ПЭТ тар, которые в дальнейшем поставляются на перерабатывающие производства.

Перед переработкой полиэтилентерефталатовых отходов их необходимо очистить от различного рода загрязнений. Требуемая степень очистки будет зависеть от выбора дальнейшей технологии переработки. В общем случае ме-

ханические методы переработки требуют более глубокой очистки сырья.

Загрязнения разделяются на три главных категории: физические загрязнения (макроскопический уровень), физические загрязнения (микроскопический уровень) и химические загрязнения.

Макроскопическое физическое загрязнение партии ПЭТ включает легкоудаляемую грязь: стеклянные фрагменты, камни, песок, почву, бумагу, клеи и другие пластмассы. Более стойкие загрязнения, образующиеся при трении или измельчении (при пакетировании, транспортировке или примитивной обработке), трудно удалить обычной мойкой, и они требуют специальных методов очистки.

Физическое загрязнение на микроскопическом уровне трудно удалить, особенно если оно липкое, подобно клею, или втерто в поверхность. Такие загрязнения создают «слабые места» и создают проблемы при переработке, например, чрезмерные разрывы при производстве волокна. Последствия – потеря качества и производительности.

Химические загрязнения образуются за счет адсорбции веществ, входящих в состав содержимого бутылок. Химическое загрязнение может также быть в пустой бутылке, которая многократно использовалась для различных целей. Пестициды, бытовая химия, моторное масло и другие жидкие продукты, хранящиеся в бутылках из-под напитков, ведут к их химическому загрязнению. Полное удаление требует десорбции, а это медленный процесс, который влечет за собой снижение производительности, поэтому используется редко. Для неответственных изделий (не несущих значительных нагрузок) и технических волокон подобными загрязнениями пренебрегают.

Очистка отходов от загрязнений может быть осуществлена различными способами: путем обработки материалов в воде, водных растворах моющих средств или щелочи, а также в неводных растворах и гравитационным разделением. Наиболее простым и экономичным является отмывка отходов ПЭТ в водных и неводных средах на аппаратах непрерывного или периодического действия [11].

					<i>ВКР.171052.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						16
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		

Например, для обработки отходов упаковки часто используются ножевые измельчители (дробилки) мокрого измельчения в комплекте со шнековыми мойками. Отходы загружаются в измельчитель. Одновременно в измельчитель подается вода. В результате интенсивного ударного воздействия происходит отделение загрязнений с поверхности изделий и их перевод в моющую среду. Соотношение подаваемых отходов и воды составляет 1:15. Образующаяся пульпа направляется в трехсекционный промыватель. Отмываемый продукт проходит последовательно все три секции. Вода для промывки подается в аппараты противотоком.

В качестве моющей среды может быть использована горячая и холодная вода, горячие водные растворы моющих средств и другие вещества. Наиболее часто очистка отходов от загрязнений производится в водном растворе моющего средства «Прогресс» и тринатрийфосфата, соотношение которых составляет 1:2. Сильно загрязненные отходы предварительно обрабатываются отработанным стиральным раствором в течение 15 мин. Для удаления клея используют горячий раствор едкого натра. Сушка измельченных отходов после их отмывки осуществляется в сушилках, работающих по принципу взвешенного слоя.

В связи с тем, что очистка и отмывка отходов позволяют значительно повысить свойства получаемых из них изделий, постоянно совершенствуются технологии этих процессов. Как правило, очистка материала производится в 2 – 3 ступени. После мойки материал сушится до 1 % остаточной влажности.

1.5.2 Термические способы переработки пластиковых отходов

Довольно распространенным способом утилизации отходов потребления пластмасс является сжигание. Теплотворная способность двух тонн пластиковых отходов упаковки эквивалентна теплотворной способности одной тонны нефти (теплотворная способность нефти 46600 кДж/кг, ПЭТ – 22700 кДж/кг). В некоторых странах работают небольшие ТЭЦ по сжиганию бытовых отходов, в состав которых входит до 50 % отходов полимерной упаковки. Как источник тепловой энергии отходы упаковочных материалов используют многие

					<i>ВКР.171052.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						17
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		

страны. Мусор сжигают в специальных печах различной конструкции, оборудованных фильтрами, очищающими вредные газы. Эти фильтры сложны в производстве и использовании, и не всегда обеспечивают необходимую степень очистки [12].

Пластмассы содержат различные стабилизирующие добавки, пигменты и другие, в состав которых входят соли тяжелых металлов. При температуре свыше 700 °С эти добавки переходят в газообразное состояние и их последующее улавливание чрезвычайно затруднено. Использование для этих целей воды приводит к ее загрязнению и необходимости организации ее сложной очистки. Для сжигания требуются затраты, которые в настоящее время не могут быть компенсированы использованием выделяющейся тепловой энергии. Кроме того, на процесс сжигания необходимо использовать значительное количество кислорода.

Сегодня, по различным оценкам, сжигается до 40 % полимерных отходов. В Соединенных Штатах для получения энергии сжигается 17 % всех твердых отходов. В Японии сжигают 75 % отходов, в Европе сжигают 30 %, в Швейцарии сжигают приблизительно 80 %. Столь широкое сжигание полимерных отходов обусловлено тем, что они имеют наибольшую теплотворную способность, чем любой другой материал, находящийся в городских отходах.

Наиболее перспективным считается использование пластмассовых отходов (кроме поливинилхлорида (ПВХ)) в доменном производстве. При этом отходы пластмасс проявляют восстановительные свойства, и, помимо этого, не образуются диоксины. Смешанные отходы пластмасс используются при выплавке стали путем вдувания отходов в доменные печи. Такой способ использования пластмассовых отходов получил широкое распространение в Германии [13].

1.5.3 Химические способы переработки ПЭТ

Химический рециклинг включает в себя химическую переработку полимерных материалов, в ходе которой полимерные молекулы превращаются в мономеры или олигомеры – деполимеризацию. Деполимеризация полиэтилен-

					<i>ВКР.171052.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		18

терефталата производится различными методами, в результате которых получают продукты для реполимеризации до первичного ПЭТ (деполимеризация нейтральным гидролизом до терефталевой кислоты и этиленгликоля, снова идущих на синтез ПЭТ), а также новые продукты, используемые в других областях химической промышленности. К сожалению до сих пор деполимеризация остается весьма дорогим способом переработки вторичных пластмасс, в основном из-за значительных энергетических затрат или использование дорогих химических продуктов.

Термическое разложение – способ утилизации вторичного полимерного сырья, при котором оно «распадается» на низкомолекулярные соединения. Сюда относятся:

а) пиролиз – термическое разложение органических веществ с целью получения полезных продуктов, например, пропана, бензола, кумола, толуола, хлористого водорода, метана, этана и др. При низких температурах (до 600 °С) образуются в основном жидкие продукты, а выше 600 °С – газообразные. В твердом остатке остается, в основном, технический углерод и соединения металлов. Пиролиз позволяет переработать смешанные и загрязненные отходы;

б) каталитический термолиз предусматривает использование более низких температурных режимов, чем предыдущий способ; этот метод также дает возможность получения ценных веществ. Так, в США при переработке определенной пластиковой тары (ПЭТ) получают дефицитные мономеры – диметилтерефталат и этиленгликоль, которые, в свою очередь, снова применяются для получения ПЭТ. С экономической точки зрения затраты на термолиз не превышают затраты на сжигание отходов. В настоящее время термолиз убыточен.

Радиационная обработка (радиодеструкция) некоторых твердых отходов, в том числе полимерных упаковок и других изделий из пластика, подразумевает разрушение химических связей макромолекул полимеров с помощью нейтронов, гамма-излучения, бета-частиц. При таком воздействии на полимеры в них образуются свободные радикалы (олигомерные, низкомолекуляр-

					<i>ВКР.171052.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						19
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		

ные), вступающие затем в реакции, разрушающие полимер (фото-, термоокислительная деструкция). Далее макромолекулы распадаются на низкомолекулярные продукты, которые уже без вреда могут быть задействованы в биоциклических процессах.

Сольволиз. При сольволизе ПЭТ подвергается деполимеризации при взаимодействии с химическими веществами, такими как метанол (метанолиз с получением мономера диметилтерефталата); этиленгликоль (гликолиз с получением мономера бисгидроэтилтерефталата); кислоты (гидролиз с получением терефталевой кислоты) или щелочи (омыление). Выбор соответствующего процесса зависит от качества материала на входе. Например, гликолиз или метанолиз неспособен удалить красители, добавленные к ПЭТ.

Методы сольволиза достаточно энергоемки, требуют высокотехнологичного оборудования и поэтому весьма дорогостоящи. Однако эти методы дают возможность использовать сырье более низкого качества, поскольку химические процессы позволяют производить дополнительную очистку.

Данное направление предполагает, например, проведение процесса деполимеризации отходов ПЭТ гидролизом в нейтральной среде до терефталевой кислоты и этиленгликоля, снова идущих на синтез ПЭТ. Процесс является непрерывным. Это наиболее распространенный, экономичный и безопасный для окружающей среды способ переработки отходов ПЭТ.

Весьма распространенным способом химической переработки отходов полиэтилентерефталата является гликолиз и поликонденсация вторичного ПЭТ с добавлением ненасыщенных многоосновных кислот или их ангидридов с целью получения сравнительно недорогой ненасыщенной полиэфирной смолы.

Процесс деполимеризации является относительно дорогим способом переработки вторичного ПЭТ, поскольку предполагает значительные энергетические затраты или использование дорогостоящих химических продуктов. Продукты деструкции ПЭТ из устаревших отходов широко используют снова в синтезе ПЭТ, для получения пластификаторов, лаков, материалов для покры-

					<i>ВКР.171052.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						20
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		

тий и др. Основным преимуществом деполимеризации является меньшая потребность в сортировке полимерных материалов по сравнению с механической переработкой, иногда можно использовать неочищенные полимерные отходы, степень загрязнения которых исключает возможность механической переработки. В некоторых случаях можно использовать отходы из смеси полимеров с восстановлением ценных продуктов из одного или более компонентов смеси.

1.5.4 Механические способы переработки ПЭТ

Степень чистоты вторичного полиэтилентерефталата имеет первостепенную важность в механическом процессе переработки. Даже незначительные количества ПВХ могут вызвать существенную потерю качества вторичного ПЭТ и в процессе переработки могут даже повредить оборудование. Допустимое содержание ПВХ в перерабатываемом ПЭТ – 0,25 %. В настоящее время автоматизированное оптическое сортирующее оборудование позволяет превосходно отделять ПЭТ от других пластмасс [14].

В общем случае в ходе процесса под механическим и тепловым воздействием отходы переходят из твердого в вязкотекучее состояние. Далее очищаются до требуемого уровня (с повышением вязкости) и затем гранулируются.

Также одним из перспективных направлений в этой области является производство гранулята из отсортированного сырья с использованием различных добавок, повышающих его качество (стабилизаторов, красителей, модификаторов и пр.), идущего на переработку в изделия различными способами переработки.

Вторичный полиэтилентерефталат может быть использован в качестве добавки к первичному сырью, снижая при этом его себестоимость без потери конечного качества (при наличии действующего производства полиэтилентерефталата) или продаваться как вторичное сырье, пригодное для производства широкого спектра товаров.

Механическая переработка полимерных материалов включает в себя измельчение, доочистку полимеров и их разделение относительно друг друга, сушку и грануляцию. Также возможно комбинирование различных способов

					<i>ВКР.171052.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						21
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		

очистки (как химических, так и механических) между собой.

Измельчение применяется для производства ПЭТ флексы (измельченные хлопья, размером от 5 до 10 мм). Отходы полиэтилентерефталата измельчают ножевыми роторными дробилками различной конструкции. Основное требование при измельчении - не допустить нагрева материала выше температуры стеклования (70 °С). Для этого применяют различные воздушные системы, которые играют роль воздушного охлаждения и служат для удаления измельченного материала из дробилки. Использование измельчителей «мокрого дробления» помимо вышеуказанных задач обеспечивают мойку материала.

Регрануляция. Для переработки ПЭТ отходов используют дробилки, мельницы, грануляторы. Под механическим и тепловым воздействием отходы переходят в смолоподобное состояние и подаются в гранулятор, на выходе из которого расплав продавливают через калибровочные отверстия и нарезают на гранулы, которые затем охлаждаются. Иногда этот процесс проводят с использованием стабилизаторов, модификаторов, красителей и других добавок, повышающих качество гранулята.

Также вторичный полиэтилентерефталат может быть использован в качестве добавки для улучшения физико-механических или электромеханических характеристик другого полимера.

Агломерация представляет собой спекание в небольшие зерна (окатыши) произвольной формы с достаточно высокой насыпной плотностью и хорошей сыпучестью. Агломерация менее энергоемка, более производительна, чем грануляция и поэтому позволяет снизить расходы на подготовку материала к дальнейшей переработке. Кроме того, агломерация протекает без изменения молекулярной массы материала при этом в процессе агломерации возможно введение в полимер красителей, стабилизаторов, наполнителей. Наиболее эффективны дисковые агломераторы непрерывного действия, когда отходы ПЭТ, измельченные до размера хлопьев, непрерывно подаются в зону агломерации и по мере формирования компактных зерен скатываются вниз. Излишки тепла выводятся водяным охлаждением и пневмотранспортом.

					<i>ВКР.171052.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						22
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		

Экструзия представляет собой распространенный способ переработки измельченных отходов полиэтилентерефталата с использованием как одно-, так и двухшнековых экструдеров. ПЭТ перерабатывается литьем под давлением во всех типах литьевых машин, предназначенных для переработки термопластов.

Отмечается, что применение соэкструзии смесей из переработанного вторичного и первичного ПЭТ улучшает реологические свойства вторичного полимера и делает его более пригодным для выдува.

Возможен вариант, когда для литья ПЭТ смешивают с полиэтиленом высокого давления и модификаторами до получения композиции, по свойствам близкой к литьевому лавсану с температурой расплава 250 °С. Полностью аморфная структура получается при температуре формы 50 °С. Аморфные изделия обладают лучшей стойкостью к ударным нагрузкам, но более низкой температурой эксплуатации.

Переработка «бутылка в бутылку» (bottle to bottle) объединяет сразу несколько методов получения вторичного ПЭТ, который можно снова использовать для производства пищевой упаковки и бутылок для напитков. Основной проблемой при такой переработке ПЭТ является снижение вязкости расплава, которое происходит за счет термической гидролитической деструкции. Снижение вязкости составляет примерно 0,07 единиц на каждый проход через экструдер.

Отличие данной технологии заключается в том, что применение вторичного пластика в продукции, контактирующей с пищей, требует наиболее высокой степени очистки полимера с повышением его характеристической вязкости. Для этого применяется интенсивная сушка, позволяющая максимально удалить влагу, и переработка с помощью вакуумной дегазации в вакуумных реакторах. При максимальном устранении влажности внутренняя вязкость ПЭТ может быть сохранена и даже повышена.

При переработке по принципу «бутылка в бутылку» может применяться так называемая «многослойная технология», когда вторичный полиэтиленте-

					<i>ВКР.171052.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		23

рефталат оказывается между двумя слоями первичного полимера. Многослойные бутылки могут содержать до 50 % вторичного ПЭТ, причем отдельные емкости могут включать и большие количества вторичного материала. Эта технология используется сегодня во многих странах, например, в России на заводе по переработке пластмасс «Пларус».

1.5.5 Выбор приоритетной технологии переработки

Сжигание отходов полиэтилентерефталата в целях использования энергии является наименее перспективным способом утилизации. Имеет смысл только в тех случаях, когда необходимо уменьшение объема отходов органических материалов, а других возможностей утилизации нет. Оказывает сильное загрязняющее воздействие на окружающую среду.

Химический рециклинг является более перспективным и активно развивающимся направлением. Химические способы переработки в основном направлены на использование пластиковых отходов, потерявших первичные свойства, и из-за этого сложно перерабатываемых механическими способами. Однако такой способ переработки требует дорогостоящего оборудования и чаще всего оказывается убыточным. Для обеспечения рентабельности производства необходим постоянный большой товароборот.

По сравнению с методами хемолиза, механическая вторичная переработка ПЭТ является относительно простой, требует меньших капиталовложений, является гибкой в смысле объема поступления сырья, практически не оказывает неблагоприятного воздействия на окружающую среду и может быть реализована в любом месте накопления отходов. В условиях России данный метод переработки является наиболее удачным, причем для наших условий подходит производство как технической вторичной гранулы ПЭТ, так и пищевой, по технологии «бутылка в бутылку» (с применением вакуумных реакторов).

Также выбор механического способа переработки ПЭТ обоснован возможностью применения полностью отечественного оборудования, что значительно снижает стоимость комплекса, упрощает его монтаж, пуск и обслуживание. В стране уже имеется достаточное количество мусоросортировочных

					<i>ВКР.171052.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						24
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		

комплексов, способных обеспечить производство необходимым для его рентабельности объемом сырья. Все это позволяет значительно снизить себестоимость конечного продукта в виде вторичного полиэтилентерефталата.

1.5.6 Экологические аспекты переработки ПЭТ

С экологической точки зрения у полимеров, как собственно и у большинства синтетических материалов, есть один существенный недостаток: низкий уровень естественной деструкции. Выполнив свое функциональное предназначение, полимеры не разрушаются под влиянием природных факторов на протяжении десятка лет, а при сжигании выделяют ряд токсичных соединений, таких как оксиды углерода, хлороводород, цианистый водород и др.

Следовательно, можно сделать вывод о том, что единственно верное направление использования полимерных отходов – это их вторичная переработка. Следует подчеркнуть, что основной удельный вес полимерных отходов в общей массе ТБО составляет приблизительно 27 %, среди которых в значительной части представлены отходы ПЭТ (около 25 %), основной их источник – это тара для жидких пищевых и непищевых продуктов.

Еще один экологический плюс утилизации ПЭТ кроется в достоинствах его промышленного применения. Полиэтилентерефталат совершенно неслучайно нашел широкое применение для производства тары для жидких продуктов. Он менее склонен к влиянию изменения температуры, не реагирует с CO₂ (что важно при хранении газированных напитков), устойчив к механическим нагрузкам. Эксплуатационные характеристики ПЭТ при вторичной переработке уменьшаются незначительно и материал остается достаточно работоспособным. Также использование отходов полимеров позволяет существенно экономить первичное сырье (прежде всего нефть) и электроэнергию.

Согласно принципам рационального природопользования, механические методы переработки вторичного ПЭТ более перспективны с экологической и экономической точек зрения, в сравнении с его захоронением, пиролизом или другими методами утилизации.

					<i>ВКР.171052.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						25
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		

2 ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

2.1 Характеристика сырья

Исходным сырьем для переработки служат бытовые отходы полиэтилен-терефталата в виде ПЭТ тары, поступающей из сортировочного центра БлагЭко, расположенного в городе Благовещенск Амурской области. На предприятии БлагЭко полимерные отходы проходят сортировку, в ходе которой отделяют подходящую к переработке тару, и грубую очистку от крупных загрязнений. После этого они собираются в кипы и отправляются на переработку. Требования к сырью и его характеристики представлены в таблице 2 [15].

Таблица 2 – Требования к сырью и его характеристики

Параметр	Характеристика	
Внешний вид	Бывшие в употреблении бутылки из ПЭТ разного цвета и формы, загрязненные	
Цвет	Бесцветный, синий, зеленый, коричневый (как отдельно, так и смешанно)	
Происхождение	Мусоросортировочная станция	
Упаковка	Прессованные кипы, пригодные к механической разгрузке	
Характеристики сырья		
Технический показатель		Значение
Содержание ПЭТ, % по массе, не менее		81
Содержание полиэтилена и полипропилена, % по массе, не более		9
Содержание ПВХ, % по массе, не более		1
Содержание посторонних примесей, % по массе, не более		3
Влажность, % по массе, не более		5
Содержание упаковочного материала, % по массе, не более		1
Вес одной упаковки, кг		40 - 350

ПЭТ тара изготавливается из термопластичного полимера – полиэтилен-терефталата, его физические свойства представлены в таблице 3 [16].

					<i>ВКР.171052.180301.ПЗ</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>	<i>Приходько К.С.</i>				<i>Разработка технологии переработки ПЭТ тары</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Пров.</i>	<i>Охотникова Г.Г.</i>					<i>У</i>	<i>26</i>	<i>58</i>
<i>Консульт.</i>	<i>Козырь А.В.</i>					<i>АМГУ ИФФ зр. 718-об</i>		
<i>Н. контр.</i>	<i>Родина Т.А.</i>							
<i>Зав. каф.</i>	<i>Гужель Ю.А.</i>							

Таблица 3 – Физические свойства полиэтилентерефталата

Параметр	Значение
Плотность, кг/м ³	1380 - 1400
Температура размягчения, °С	245
Температура плавления, °С	260
Температура разложения, °С	350
Температура стеклования, °С	70 - 80
Морозостойкость, °С	минус 50
Водопоглощение за 24 часа, %	0,3
Теплопроводность, Вт/(м · К)	0,14

2.2 Характеристика готовой продукции

Промежуточным продуктом проектируемой технологической линии является ПЭТ флекса, представляющая собой измельченную до размера хлопьев и отмытую тару. Флекса может продаваться как готовый продукт или направляться на дальнейшую переработку в экструдер. Характеристика ПЭТ флексы представлена в таблице 4 [17].

Таблица 4 – Характеристика флексы

Параметр	Характеристика	
Внешний вид	Мелкие хлопья	
Цвет	Прозрачный, синий, зеленый, коричневый (как отдельно, так и смешанно)	
Происхождение	Очищенная ПЭТ тара	
Упаковка	Биг-бэги весом от 500 до 1000 кг	
Характеристики флексы		
Технический показатель		Значение
Влажность, % по массе, не более		2
Содержание ПВХ, % по массе, не более		0,02
Содержание этикетки и других полимеров, % по массе, не более		0,15

Целевым продуктом проектируемой технологической линии является вторичная ПЭТ гранула, полученная экструзионным методом и пригодная для дальнейшего производства различных изделий на ее основе. Характеристика

					<i>ВКР.171052.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		27

вторичного гранулята ПЭТ представлена в таблице 5 [18].

Таблица 5 – Характеристика вторичного гранулята

Параметр	Характеристика	
Внешний вид	Гранулы цилиндрической формы	
Цвет	Белый, синий, зеленый, коричневый (как отдельно, так и смешанно)	
Происхождение	ПЭТ флекса	
Характеристики вторичного гранулята		
	Технический показатель	Значение
	Массовая доля влаги, % по массе, не более	0,4
	Массовая доля ацетальдегида, ppm, не более	2
	Температура плавления, °С	245-252
	Характеристическая вязкость, дл/г	0,72 - 0,76
	Размер гранул, мм	
	- длина	2 - 4
	- диаметр	2 - 4

2.3 Описание технологической схемы

Технологическая схема проектируемого предприятия по переработке ПЭТ тары представлена на рисунке 1.

Предварительно отсортированная ПЭТ тара со склада сырья поступает в моющий отделитель этикетки 1, где подвергается очистке от крупных механических загрязнений. Сырье через загрузочный бункер при помощи шнекового механизма подается в зону отделения этикетки. При вращении ротора подвижными ножами и клыками происходит механическое удаление этикетки с бутылок, а также очистка от тяжелой фракции (песок, камни, металл, стекло), при этом сырье непрерывно транспортируется в зону выгрузки аппарата. Для отмывки и отвода загрязнений в аппарат сверху через орошающие устройства подается вода. Образующийся шлам вымывается водой в лотки для слива, откуда потом выводится на очистку. При этом через вытяжную систему происходит отделение от очищаемого материала этикетки и других легких включений, которые не удалились водой. Воздушный поток проходит через воздушный гофрированный фильтр 2 и компрессором 3 выбрасывается в атмосферу.

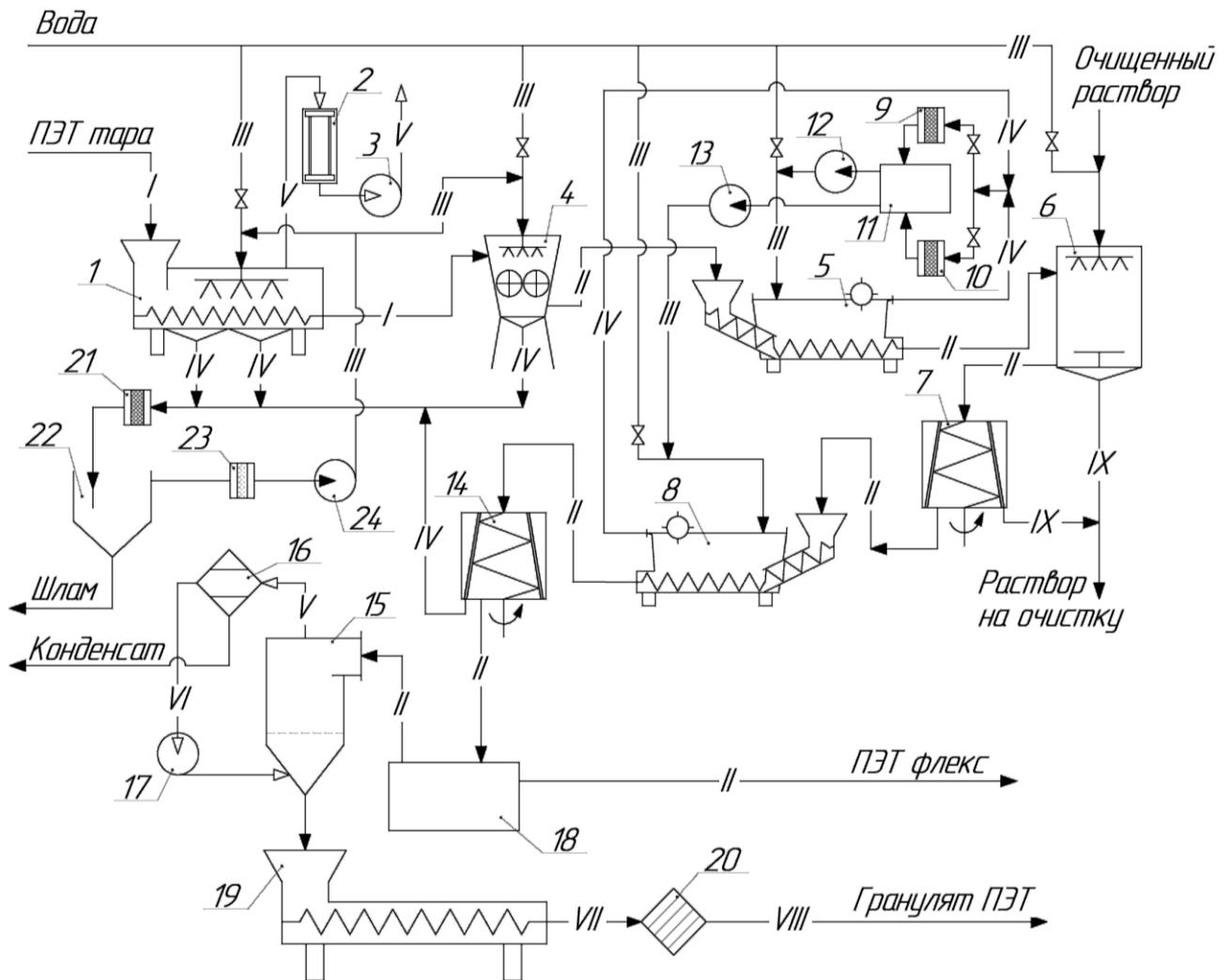


Рисунок 1 – Технологическая схема переработки ПЭТ тары:

- 1 – мойщик этикетки; 2 – Воздушный гофрированный фильтр; 3, 17 – компрессоры; 4 – дробилка; 5, 8 – флотационные мойки; 6 – подогреваемая мойка; 7, 14 – центрифуги; 9, 10, 21 – сетчатые фильтры; 11, 18 – буферная емкость; 12, 13, 24 – насосы; 15 – сушилка; 16 – осушитель воздуха; 19 – экструдер; 20 – гранулятор; 22 – отстойник; 23 – керамзитовый фильтр; I – ПЭТ тара; II – ПЭТ флекса; III – вода; IV – загрязненная вода; V – воздух; VI – сухой воздух; VII – расплав ПЭТ; VIII – гранулят ПЭТ; IX – мойщик раствор на очистку.

После отделителя этикетки сырье направляется в роторную дробилку 4. Измельчение происходит в процессе многократных ударов тары о неподвижные ножи, расположенные в корпусе дробилки, и подвижные ножи на роторе.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

Когда размер измельченной фракции достигает величины ячейки сита, она проходит в выходной раструб, в ином случае измельчение продолжается. Для снижения рабочего шума и продления срока службы ножей дробилки предусмотрено орошение водой, поступающей в верхнюю часть аппарата. Загрязненная вода стекает в лотки для слива, откуда потом направляется на очистку.

Вода, отводимая с моющего отделителя этикетки и дробилки, циркулирует в замкнутом контуре. Для ее очистки предусмотрена система сетчатых фильтров 21 с большим размером ячеек для предварительного удаления крупных частиц и этикетки. Далее вода направляется в отстойник 22, где под действием силы тяжести она очищается от уносимого шлама, который в последствии выгружается из отстойника при помощи шнеков. Осветленная вода обеззараживается, проходя через пористый фильтр 23, заполненный керамзитом, и насосом 24 подается обратно к отделителю этикетки и дробилке.

ПЭТ флекса, выходящая из дробилки, направляется на флотационную мойку 5, предназначенную для отделения загрязнений плотность которых меньше плотности воды. Хлопья ПЭТ подаются в ванну загрузочным шнеком, распыляющим их под поверхностью воды. Так как плотность полиэтилентерефталата больше, чем у воды он тонет и транспортируется шнеком через ванну в зону выгрузки. Остатки пробки, колец, полиэтиленовых и полипропиленовых этикеток и других частиц с удельной плотностью менее единицы всплывают на поверхность и уносятся потоком воды через переток ванны на фильтрацию.

Для флотационных моек 5 и 8 предусмотрена система оборотной воды, включающая в себя два сетчатых фильтра 9 и 10, работающих попеременно. Проходя через фильтр твердые частицы задерживаются на его поверхности, а отфильтрованная вода собирается в буферной емкости 11, откуда далее насосами 12 и 13 направляется обратно в ванны флотационных моек. Для компенсации потерь и в случае пуска линии после простоя предусмотрен подвод свежей воды из системы центрального водоснабжения.

После флотационной мойки флекса подается в подогреваемую мойку 6,

					<i>ВКР.171052.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						30
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		

представляющую собой специализированный аппарат для горячей отмывки от сложных загрязнителей и клея при помощи ворошителя особой конструкции. Чистый раствор щелочи подается в верхнюю часть аппарата, а загрязненный выводится с нижней и направляется на дальнейшую очистку.

Далее флекса поступает в центробежную отстойную центрифугу непрерывного действия 7 для промежуточной сушки на этапе отмывки. Внутри расположен перфорированный барабан с отверстиями, при вращении которого, под действием центробежных сил, происходит отделение моющего раствора от измельченной тары, постепенно ссыпаящейся вниз под действием сил гравитации. Раствор, отделяемый в процессе, выводится из аппарата на дальнейшую очистку.

После промежуточной сушки флекса подвергается повторной обработке на флотационной мойке 8 и окончательной сушке в центрифуге 14. Аппараты 8 и 14 работают по аналогичному рассмотренному ранее принципу. Флотационная мойка 8 включена в систему оборотной воды, а жидкость из центрифуги 14 направляется на очистку в общую систему сбора загрязненной воды. После сушки очищенная флекса ссыпается в буферную емкость 18, откуда она, при необходимости, может быть направлена на склад товарной продукции или на дальнейшую экструзионную переработку.

Флексу из буферной емкости 18 перед подачей в экструдер необходимо предварительно высушить в сушилке 15 до остаточной влажности не более 0,3 % по массе. Сырье подается на циклон сушилки, где под действием центробежных и гравитационных сил разделяется. Воздух поступает на пылеулавливатель, расположенный в верхней части аппарата, для очистки от захваченных частиц пыли и выводится из аппарата, проходит через осушитель воздуха 16 и компрессором 17 подается обратно в циклон. Высушенное сырье ссыпается в нижнюю часть аппарата и направляется в дозирующее устройство экструдера 19.

Поступающее в экструдер сырье захватывается шнеком и транспортируется из зоны дозирования в зону сжатия постепенно разогреваясь до темпера-

					<i>ВКР.171052.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						31
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		

туры 280 °С за счет сил внутреннего трения и обогрева цилиндра экструдера ТЭНами. Пройдя зону сжатия расплав полиэтилентерефталата, транспортируемый шнеком, поступает в зону дозирования, откуда выводится из экструдера. Далее расплав направляется в гранулятор 20, где он вытягивается в стренги и нарезается на гранулы, охлаждаясь при этом до температуры 40 °С. Полученный вторичный гранулят ПЭТ фасуется в биг-бэги и направляется на склад товарной продукции.

2.4 Расчет материального баланса

Принимаем следующий режим работы проектируемого предприятия:

- количество смен – 1;
- продолжительность смены – 8 часов;
- общее время работы оборудования в день – 8 часов;
- рабочих дней в неделю – 7;
- число недель в году – 52;
- число праздничных дней в году – 14.

Находим номинальный годовой фонд рабочего времени оборудования:

$$T_n = K \cdot ((N \cdot d + 1) - n) \cdot t, \quad (1)$$

где K – число смен в сутки;

N – количество рабочих дней в неделю;

d – число недель в году;

n – число праздничных дней;

t – продолжительность смены, ч.

$$T_n = 1 \cdot ((7 \cdot 52 + 1) - 14) \cdot 8 = 2808 \text{ ч}$$

Действительный фонд рабочего времени оборудования находится по формуле:

$$T_d = T_n - t_p - t_{пр}, \quad (2)$$

где t_p – время, затрачиваемое на ремонт оборудования;

$t_{пр}$ – время, затрачиваемое на технологический простой оборудования.

Предварительно определяем время, затрачиваемое на ремонт оборудования и технологический простой:

					<i>ВКР.171052.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						32
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		

$$t_p = d_p \cdot t \cdot K, \quad (3)$$

где d_p – число дней, затрачиваемых на капитальный и текущий ремонт оборудования (7 дней).

$$t_{пр} = d_{пр} \cdot t \cdot K, \quad (4)$$

где $d_{пр}$ – число дней, затрачиваемых на технологический простой (3 дня).

$$t_p = 7 \cdot 8 \cdot 1 = 56 \text{ ч}$$

$$t_{пр} = 3 \cdot 8 \cdot 1 = 24 \text{ ч}$$

Находим действительный фонд рабочего времени оборудования:

$$T_d = 2808 - 56 - 24 = 2728 \text{ ч}$$

Для проектируемого предприятия задаемся производительностью экструдера по переработанному полиэтилентерефталату $G_3 = 500 \text{ кг/ч}$.

Годовая производительность экструдера:

$$G_r = \frac{T_d \cdot G_3}{1000} \quad (5)$$

$$G_r = \frac{2728 \cdot 500}{1000} = 1364 \text{ тонн/год}$$

В таблице 6 представлен усредненный состав основных компонентов, содержащихся в 1 кг собранной ПЭТ тары [19].

Таблица 6 – Компонентный состав 1 кг ПЭТ тары

Компонент	m, г	% по массе
Полиэтилентерефталат	850	85
Пробка (полиэтилен)	60	6
Клей и этикетка	90	9

Находим количество сырья, необходимого для обеспечения годовой производительности экструдера без учета технологических потерь:

$$G_c = \frac{G_r \cdot 100}{n}, \quad (6)$$

где n – содержание полиэтилентерефталата в бутылке, % по массе.

$$G_c = \frac{1364 \cdot 100}{85} = 1604,71 \text{ тонн/год}$$

При переработке термопластов экструзионным методом в ходе выполнения различных операций технологического процесса имеют место потери и отходы (включая соответствующий им коэффициент технологических потерь), представленные в таблице 7 [20].

Таблица 7 – Коэффициенты потерь при переработке ПЭТ тары

Параметр	Значение
Транспортировка и хранение, $K_{тпт}$	0,0010
Растваривание, $K_{тпр}$	0,0010
Сушка, $K_{тпс}$	0,0015
Подготовка отходов к переработке, $K_{тпп}$	0,0030

Потери при транспортировке и хранении:

$$P_{тпт} = G_c \cdot K_{тпт} \quad (7)$$

$$P_{тпт} = 1604,71 \cdot 0,0010 = 1,60 \text{ тонн/год}$$

Потери при растаривании:

$$P_{тпр} = G_c \cdot K_{тпр} \quad (8)$$

$$P_{тпр} = 1604,71 \cdot 0,0010 = 1,60 \text{ тонн/год}$$

Потери при сушке

$$P_{тпс} = G_c \cdot K_{тпс} \quad (9)$$

$$P_{тпс} = 1604,71 \cdot 0,0015 = 2,41 \text{ тонн/год}$$

Потери подготовка отходов к переработке в экструдере:

$$P_{тпп} = G_c \cdot K_{тпп} \quad (10)$$

$$P_{тпп} = 1604,71 \cdot 0,0030 = 4,81 \text{ тонн/год}$$

Находим суммарные технологические потери:

$$P_{тп} = P_{тпт} + P_{тпр} + P_{тпс} + P_{тпп} \quad (11)$$

$$P_{тп} = 1,60 + 1,60 + 2,41 + 4,81 = 10,42 \text{ тонн/год}$$

Находим необходимое количество сырья:

$$G = G_c + P_{тп} \quad (12)$$

$$G = 1604,71 + 10,42 = 1615,13 \text{ тонн/год}$$

Результаты расчета материального баланса представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Материальный баланс

Приход	тонн/год	% по массе	Расход	тонн/год	% по массе
ПЭТ тара	1615,13	100	Полиэтилентерефталат	1364,00	84,45
			Потери, в т.ч.:		
			-пробка	96,28	5,96
			-клей и этикетка	144,43	8,94
			-технологические потери	10,42	0,65
			Всего потерь	251,13	15,55
Всего	1615,13	100	Всего	1615,13	100

2.5 Технологический расчет экструдера

Основным перерабатывающим аппаратом на проектируемом производстве является одношнековый экструдер с расчетной производительностью по переработанному полиэтилентерефталату 500 кг/ч. Технологический расчет экструдера выполняется согласно методикам [21, 22].

Первым этапом расчета является определение геометрических характеристик червячного механизма экструдера, далее необходимо провести проверочный расчет производительности с учетом найденных характеристик червяка.

Рассчитываем объемную производительность экструдера по полиэтилентерефталату:

$$V = \frac{G_3}{3600 \cdot \rho} \text{ м}^3/\text{с}, \quad (13)$$

где G_3 – расчетная производительность экструдера, кг/ч;

ρ – плотность полиэтилентерефталата.

$$V = \frac{500}{3600 \cdot 1380} = 100,6441 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$$

Для предварительного определения геометрических характеристик червячного механизма задаемся средним значением градиента скорости сдвига расплава ПЭТ $\gamma = 100 \text{ с}^{-1}$. Находим коэффициент α по формуле 11 и согласно

вычисленному значению по номограмме определяем ориентировочный диаметр проектируемого червяка (D_{op}):

$$\alpha = \frac{V}{\gamma} \text{ м}^3 \quad (14)$$

$$\alpha = \frac{100,6441 \cdot 10^{-6}}{100} = 1,0064 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$$

По номограмме: $D_{op} = 120 \text{ мм}$

Диаметр червяка D и отношение его длины к диаметру L/D является стандартным значением. Округляем найденный по номограмме ориентировочный диаметр D_{op} до ближайшего стандартного значения: $D = 125 \text{ мм}$.

Находим глубину канала (нарезки) червяка в конце зоны дозирования по формуле 15:

$$h_3 = 1,82 \cdot \left(\frac{V}{\gamma \cdot D \cdot 0,001} \right)^{0,5} \quad (15)$$

$$h_3 = 1,82 \cdot \left(\frac{1,0064 \cdot 10^{-6}}{125 \cdot 0,001} \right)^{0,5} = 5,1642 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

По формуле 3 определяем частоту вращения червяка:

$$n = \frac{\gamma \cdot h_3}{\pi \cdot D \cdot 0,001} \quad (16)$$

$$n = \frac{100 \cdot 5,1642 \cdot 10^{-3}}{3,14 \cdot 125 \cdot 0,001} = 1,3157 \text{ с}^{-1}$$

Выбираем червяк типа 2А с отношением $h_1/h_3 = 3,8$ и рассчитываем его геометрические параметры (i , φ , b , $L_{об}$, L , L_1 , L_2 , L_3), предварительно определив ширину гребня нарезки (e) и глубину нарезки в зоне загрузки (h_1):

$$e = 0,08 \cdot D \quad (17)$$

$$e = 0,08 \cdot 125 = 10 \text{ мм}$$

$$h_1 = \left(\frac{h_1}{h_3} \right) \cdot h_3 \quad (18)$$

$$h_1 = 3,8 \cdot 5,1642 \cdot 10^{-3} = 19,6239 \text{ мм}$$

					<i>ВКР.171052.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		36

$$L_{об} = \left(\frac{L_{об}}{D} \right) \cdot D \quad (19)$$

$$L_{об} = 27,5 \cdot 125 = 3437,5 \text{ мм}$$

$$L_2 = \left(\frac{L_2}{D} \right) \cdot D \quad (20)$$

$$L_2 = 1 \cdot 125 = 125 \text{ мм}$$

$$L_3 = \left(\frac{L_3}{D} \right) \cdot D \quad (21)$$

$$L_3 = 12 \cdot 125 = 1500 \text{ мм}$$

$$L = \left(\frac{L}{D} \right) \cdot D \quad (22)$$

$$L = 25 \cdot 125 = 3125 \text{ мм}$$

$$L_1 = L - (L_2 + L_3) \quad (23)$$

$$L_1 = 3125 - (125 + 1500) = 1500 \text{ мм}$$

В уравнениях с 19 по 22 значения в скобках являются стандартными конструктивными параметрами для выбранного типа червяка. У типовых экструдеров при переработке термопластов число заходов нарезки принимают $\lambda = 1$, а шаг $t = D = 125$ мм.

Определяем угол подъема винтовой линии при найденных параметрах:

$$\varphi = \arctg \frac{t}{\pi \cdot D} \quad (24)$$

$$\varphi = \arctg \frac{125}{3,14 \cdot 125} = 17^\circ 40'$$

Находим ширину канала между витками (по нормали):

$$b = \frac{(t - i \cdot e) \cdot \cos \varphi}{i} \quad (25)$$

$$b = \frac{(125 - 1 \cdot 10) \cdot 0,9528}{1} = 109,572 \text{ мм}$$

Полученные параметры червяка сводим в таблицу 9.

					ВКР.171052.180301.ПЗ	Лист
						37
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

Таблица 9 – Геометрические характеристики червяка

Характеристика	Значение
D (L/D), мм	125 (25)
Глубина нарезки в зоне загрузки, h_1 , мм	19,6239
Глубина нарезки в зоне дозирования, h_3 , мм	5,1642
Ширина гребня нарезки, e , мм	10
Общая длина, $L_{об}$ (рабочая длина, L), мм	3437,5 (3125)
Ширина зоны загрузки, L_1 , мм	1500
Ширина зоны сжатия, L_2 , мм	125
Ширина зоны дозирования, L_3 , мм	1500
Шаг нарезки, t , мм	125
Число заходов нарезки, λ	1
Угол подъема нарезки, φ	17°40'
Ширина канала между витками, b , мм	109,572

При заказе экструдера следует руководствоваться найденными геометрическими параметрами червячного механизма. Проводим проверочный расчет производительности с учетом определенных характеристик червяка.

Находим среднюю глубину нарезки в зоне сжатия:

$$h_2 = h_1 - \frac{h_1 - h_3}{L} \cdot L_1 \quad (26)$$

$$h_2 = 19,6239 - \frac{19,6239 - 5,1642}{3125} \cdot 1500 = 12,6832 \text{ мм}$$

Находим диаметр сердечника шнека в зоне загрузки (d_1), сжатия (d_2) и дозирования (d_3):

$$d_i = D - 2 \cdot h_i \quad (27)$$

$$d_1 = 125 - 2 \cdot 19,6239 = 85,7522 \text{ мм}$$

$$d_2 = 125 - 2 \cdot 12,6832 = 99,6336 \text{ мм}$$

$$d_3 = 125 - 2 \cdot 5,1642 = 114,6716 \text{ мм}$$

Производительность (в см³/мин) одношнекового экструдера с переменной глубиной нарезки спирального канала находится по формуле:

					ВКР.171052.180301.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		38

ρ_p – плотность расплава, кг/м³.

Предварительно рассчитываем степень уплотнения материала:

$$i = \frac{h_1 \cdot (D - h_1)}{h_3 \cdot (D - h_3)} \quad (34)$$

$$i = \frac{19,6239 \cdot (125 - 19,6239)}{5,1642 \cdot (125 - 5,1642)} = 3,3415$$

$$K = \frac{3,3415^2}{1330 \cdot 0,1768 \cdot 8,668} = 5,4781 \cdot 10^{-3}$$

$$B = \frac{\pi \cdot t \cdot (t - \lambda \cdot e)}{1,2 \cdot L_n \cdot (a + t^2 \cdot b)}, \quad (35)$$

где L_n – длина напорной части шнека, см;

$$L_n = \frac{0,7 \cdot L}{10} \quad (36)$$

$$L_n = \frac{0,7 \cdot 3125}{10} = 218,75 \text{ см}$$

$$B = \frac{3,14 \cdot 12,5 \cdot (12,5 - 1 \cdot 1)}{1,2 \cdot 218,75 \cdot (92,9607 + 12,5^2 \cdot 0,1768)} = 14,2598 \cdot 10^{-3} \text{ см}^3$$

Определяем производительность экструдера по полиэтилентерефталату:

$$Q = \frac{289,0564 \cdot 5,4781 \cdot 10^{-3} \cdot 78,94}{5,4781 \cdot 10^{-3} + 14,2598 \cdot 10^{-3}} = 6332 \text{ см}^3/\text{мин}$$

Рассчитываем массовую производительность экструдера с учетом плотности расплава ПЭТ на выходе:

$$G = \frac{Q}{16667} \cdot \rho_p \quad (37)$$

$$G = \frac{6332}{16667} \cdot 1330 = 505 \text{ кг/ч}$$

Полученная производительность соответствует заданным условиям (лежит в пределах установленной погрешности), следовательно, геометрические параметры червяка подобраны верно. Для проектируемого производства был выбран экструдер, позволяющий использовать шнек с найденными геометри-

					ВКР.171052.180301.ПЗ	Лист
						40
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

ческими характеристиками, Станко-125 компании ООО «СтанкоПЭТ-РУС».

2.6 Подбор оборудования для подготовки сырья к переработке

Перед подачей перерабатываемой тары в экструдер ее необходимо подготовить к переработке, а именно очистить от загрязнений, измельчить до размеров хлопьев и высушить до необходимого уровня содержания влаги.

Необходимая степень очистки зависит от дальнейшей технологии переработки. Экструзия относится к механическим способам переработки, которые требуют достаточно глубокой очистки сырья от загрязнений различной степени. Физическое загрязнение (мелкие камни, почва, бумага, клеи и другие загрязнители) можно удалить комплексом мер, включающих отделение этикетки, флотационное разделение и интенсивную мойку щелочными растворами. Химические загрязнения образуются за счет адсорбции веществ, входящих в состав содержимого бутылок. Полное удаление требует десорбции в процессе переработки, а это медленный процесс, который влечет за собой снижение производительности и рост затрат, поэтому используется редко. Для вторичной ПЭТ гранулы, идущей на производство изделий, не контактирующих с пищевыми продуктами, подобными загрязнениями пренебрегают.

Так как ПЭТФ является гигроскопичным материалом, с целью достижения максимальной мощности производства и для получения качественных изделий, перед процессом экструзионной переработки измельченное до размеров флексы и очищенное сырье необходимо высушить. При достижении температуры плавления влажность приводит к гидролизу с распадом химических связей, что служит причиной снижения молекулярного веса, вязкости и других свойств вторичной гранулы [23]. Максимально допустимый уровень входной влажности составляет 0,3 %.

Исходя из требований к получаемому продукту, способа переработки, а также имеющихся на отечественном рынке предложений, в качестве поставщика была выбрана компания ООО «СтанкоПЭТ-РУС». С учетом имеющегося перечня оборудования была разработана линия по переработке ПЭТ тары в хлопья (чистые флексы) с максимальной производительностью 600 кг/ч. Под-

					<i>ВКР.171052.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		41

бор был осуществлен с условием обеспечения экструдера необходимым объемом сырья для поддержания установленной производительности.

Линия позволяет получить чистую ПЭТ флексу из загрязненной тары и включает в себя комплексные меры очистки сырья, предназначена для эксплуатации в условиях закрытого помещения. В таблице 10 приведена комплектность оборудования, входящего в состав линии. Технические характеристики представлены в таблице 11.

Таблица 10 – Комплектность оборудования

Наименование оборудования	Количество, шт.
Кипоразбиватель С-КР-2	1
Ленточный транспортер ЛТР-ПЭТ	1
Транспортер-металлодетектор ЛТМ-600	1
Шнековый транспортер ШТР-600	3
Отделитель этикетки моющий	1
Дробилка ИРП-600ПЭТ	1
Ванна флотации СТАНКО ВФ-ПЭТ	2
Подогреваемая мойка ИМП-ПЭТ	1
Центрифуга СТАНКО С-800ПЭТ	2
Досушка полимеров СТАНКО ДП-500	1
Циклон-накопитель ЦН-150	2
Пульт управления линией	1

Таблица 11 – Технические характеристики линии

Параметр	Значение
Перерабатываемый материал	ПЭТ тара
Производительность, кг/ч	600
Суммарная мощность, кВт	240
Рабочая мощность, кВт	200
Потребление воды (на обновление), м ³	2
Занимаемая площадь, м ²	180

Кипоразбиватель, входящий в состав линии, позволяет автоматизировать процесс разбивания тюков с ПЭТ тарой и создает непрерывный равномерный

					<i>ВКР.171052.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						42
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		

поток из отдельных бутылок, что позволяет поддерживать производительность процесса на заданном уровне. Технические характеристики кипоразбивателя представлены в таблице 12.

Таблица 12 – Технические характеристики кипоразбивателя С-КР-2

Параметр	Значение
Производительность, кг/ч	1000
Мощность, кВт	4,47
Габаритные размеры, мм	4314×2048×3235
Масса, кг	1450

Моющий отделитель этикетки позволяет предварительно очистить сырье от крупных механических загрязнений (песок, камни, металл, стекло) и удалить этикетку. Исходное сырье через бункер загрузки подается в зону загрузки ротора и продвигается в зону отделения этикетки. При вращении ротора, подвижными ножами и клыками происходит механическое удаление этикетки с бутылок, а также очистка от песка и грязи тяжелой фракции. Посредством гидросистемы данные продукты вымываются сначала в лотки слива, а потом в сливную трубу. В процессе отделения сырье подается в зону выгрузки и лопатками выводится из отделителя через бункер выгрузки. При этом через вытяжную систему происходит отделение от конечного материала этикетки и легких включений, которые не удалились водой. Технические характеристики представлены в таблице 13.

Таблица 13 – Технические характеристики отделителя этикетки С-ОЭ-800

Параметр	Значение
Производительность, кг/ч	800
Количество приводных электродвигателей, шт.	2
Мощность двигателя, кВт	7,5
Частота вращения вала (барабана), об/мин	1500 (600)
Мощность вибросита, кВт	0,53
Масса вибросита, кг	235
Габаритные размеры, мм	4254×1575×2150
Масса, кг	1550

Измельчитель отходов пластмасс ИРП-600ПЭТ предназначен для измельчения ПЭТ тары. Дробилка оснащена системой предварительной отмывки материала и блоком принудительной подачи ПЭТ бутылки в дробильную камеру. Использование воды снижает шум и увеличивает срок службы ножей. Размер получаемых фракций определяется диаметром отверстий в решётке. Технические характеристики измельчителя представлены в таблице 14.

Таблица 14 – Технические характеристики дробилки ИРП-600ПЭТ

Параметр	Значение
Производительность, кг/ч	600
Мощность двигателя, кВт	55
Частота вращения вала двигателя (ротора), об/мин	1500 (560)
Диаметр ротора, мм	500
Длина ротора, мм	780
Количество стационарных ножей, шт.	4
Количество роторных ножей, шт.	16
Габаритные размеры, мм	1910×1550×3450
Масса, кг	3250

Флотационная мойка СТАНКО ВФ-ПЭТ предназначена для отделения предварительно измельченного сырья, плотность которого больше плотности воды, от инородных включений (бумаги, пленки, этикетки, пробки). Хлопья ПЭТ подаются под воду загрузочным шнеком, распыляющим их под поверхностью воды. Так как плотность полиэтилентерефталата больше, чем у воды он тонет и транспортируется шнеком через ванну. Остатки пробки, колец, полиэтиленовых и полипропиленовых этикеток и других частиц с удельной плотностью менее единицы всплывают на поверхность, уносятся потоком воды и отфильтровываются. Очищенная вода возвращается в цикл. Технические характеристики флотационной мойки представлены в таблице 15.

Таблица 15 – Технические характеристики мойки ВФ-ПЭТ

Параметр	Значение
Производительность, кг/ч	600
Суммарная мощность двигателей, кВт	8,3

					<i>ВКР.171052.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						44
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		

Параметр	Значение
Объем воды, м ³	3,1
Габаритные размеры, мм	5790×2415×3365
Масса, кг	1765

Подогреваемая мойка ИМП-ПЭТ представляет собой специализированный аппарат для горячей отмывки, измельченной ПЭТ флексы от сложных загрязнителей и клея. Позволяет добавлять моющие средства. Отмывка происходит при помощи ворошителя, разработанного специально для эффективной работы с ПЭТ. Особая конструкция кожуха защищает мойку от теплопотерь. Технические характеристики интенсивной мойки представлены в таблице 16.

Таблица 16 – Технические характеристики мойки ИМП-ПЭТ

Параметр	Значение
Производительность, кг/ч	600
Рабочая мощность, кВт	7
Мощность ТЭНов, кВт	45
Объем бочки, м ³	1
Габаритные размеры, мм	3585×1555×3260
Масса, кг	2015

Центрифуга С-800ПЭТ представляет собой отстойную центрифугу непрерывного действия с гравитационной выгрузкой осадка. Применяется для сушки на этапе отмывки ПЭТ флексы и обеспечивает высокую степень осушения. Технические характеристики представлены в таблице 17.

Таблица 17 – Технические характеристики центрифуги С-800ПЭТ

Параметр	Значение
Производительность, кг/ч	800
Мощность двигателя, кВт	18,5
Частота вращения ротора, об/мин	1460
Габаритные размеры, мм	2050×1655×3210
Масса, кг	1510

Также была подобрана сушка полимеров С-ДП-600 для досушки отмытой ПЭТ флексы перед подачей в экструдер. Данная сушка обеспечивает требуемый уровень остаточной влажности (0,3 %). Сырье пневмотранспортом подается на циклон сушилки, где под действием центробежных и гравитационных сил разделяется. Воздух поступает на пылеулавливатель, для окончательной очистки. Циркуляция воздуха в системе осуществляется по замкнутому контуру. Сырье поступает в буферную зону где смешивается с горячим воздухом от нагревательного блока и поступает в вентилятор пневмотранспорта для дальнейшей подачи в экструдер. Технические характеристики сушилки представлены в таблице 18.

Таблица 18 – Технические характеристики сушилки С-ДП-600

Параметр	Значение
Производительность, кг/ч	600
Мощность электродвигателей, кВт	5,5
Суммарная мощность ТЭНов, кВт	36
Габаритные размеры, мм	550×1020×3985
Масса, кг	850

Для промежуточного хранения полученной ПЭТ флексы, в качестве буферной емкости, были подобраны два циклона-накопителя ЦН-150. Их конструкция позволяет, при необходимости, произвести автоматическую выгрузку флексы в фасовочную тару. При насыпной плотности ПЭТ хлопьев 280 кг/м³ и объеме бункера 1,4 м³ один циклон при полной загрузке вмещает в себя до 392 кг флексы.

3 БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ ПРОИЗВОДСТВА

3.1 Воздействие на окружающую среду жидких отходов в условиях аварийной и безаварийной эксплуатации

К жидким отходам на проектируемой линии относится вода, отводимая с установок на которых происходит отмывка тары и ПЭТ флексы. По степени загрязнения ее можно разделить на три группы. К первой группе относятся сточные воды, отводимые с моющего отделителя этикетки и дробилки. В них, помимо этикетки, содержится большое количество шлама, состоящего из земли, мелких камней и других природных загрязнителей, не представляющих особой опасности для окружающей среды. Ко второй группе относится вода, отводимая с флотационных моек, которая содержит частицы полиэтиленовых крышек и остатки этикетки в измельченном виде. К третьей группе относится наиболее проблемный поток, отводимый с горячей мойки и представляющий собой раствор едкого натра с концентрацией 3 % и отмытый с тары клей.

В случае аварии, вызванной прорывом трубопровода, наибольшую опасность представляет раствор гидроксида натрия. При попадании в почву в значительных количествах он может оказывать токсическое воздействие на ее микрофлору и процессы самоочищения, что приводит к ухудшению внешнего вида растительного покрова, засорению и деградации почв. Попадая в водоемы раствор едкого натра влияет на их санитарный режим, тормозит процессы самоочищения, изменяет органолептические свойства воды и проявляет биологическую активность по отношению к гидробионтам, оказывая на них токсическое воздействие. ПДК гидроксида натрия в атмосферном воздухе (ориентировочный безопасный уровень воздействия) составляет 0,01 мг/м³, в воде 200 мг/л, для почвы не установлен [24].

При нормальном (безаварийном) режиме работы на предприятии преду-

					<i>ВКР.171052.180301.ПЗ</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>	<i>Приходько К.С.</i>				<i>Разработка технологии переработки ПЭТ тары</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Пров.</i>	<i>Охотникова Г.Г.</i>					<i>У</i>	<i>47</i>	<i>58</i>
<i>Консульт.</i>	<i>Козырь А.В.</i>					<i>АМГУ ИФФ зр. 718-об</i>		
<i>Н. контр.</i>	<i>Родина Т.А.</i>							
<i>Зав. каф.</i>	<i>Гужель Ю.А.</i>							

смотрен замкнутый цикл оборотной воды, предполагающий ее очистку и повторное использование. В таком случае образование сточных вод сведено к минимуму. При необходимости сброса раствора гидроксида натрия в канализацию, с учетом его низкой концентрации и небольшого объема возможно разбавление до норм ПДК.

3.2 Мероприятия по предупреждению попадания сточных вод в окружающую среду

Для предотвращения попадания сточных вод в окружающую среду необходимо обеспечить максимальную герметизацию аппаратов, буферных емкостей, трубопроводов и их соединений. Также необходимо производить регулярный контроль технического состояния оборудования, запорной арматуры и т.д.

В случае прорыва трубопровода с раствором гидроксида натрия требуется немедленно остановить его циркуляцию и локализовать пролив во избежание попадания в окружающую среду. Пролившийся раствор необходимо нейтрализовать кислотой и собрать влаговпитывающим материалом (песок, кизельгур) или обезвредить его, поливая место разлива обильным количеством воды. Также необходимо предусмотреть сливные решетки по периметру предприятия для предотвращения попадания сточных вод за его пределы.

3.3 Мероприятия по очистке оборотной воды

Для снижения нагрузки на окружающую среду внутри предприятия предусмотрено использование оборотной воды, в зависимости от степени ее загрязнения применяются различные методы очистки.

Вода, отводимая с моющего отделителя этикетки и дробилки, содержит большое количество механических примесей, а именно: отмытую с бутылок этикетку, большое количество земли, мелких камней и других природных загрязнителей. Для ее очистки предусмотрена система сетчатых фильтров с большим размером ячеек для предварительной очистки от крупных частиц и этикетки. Осаждение земли осуществляется в отстойных аппаратах под действием сил тяжести, в них же отделяется остатки этикетки, которая всплывает

					<i>ВКР.171052.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						48
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		

на поверхность и удаляется гребками. После отстойника очищенная вода проходит фильтрацию керамзитом, который является природным антисептиком и подается обратно к аппаратам.

На флотационных мойках осуществляется отделение примесей, плотность которых меньше плотности воды (остатки крышки и этикетки). Поток, отводимый с флотационных моек уносит их с собой. Так как частицы имеют крупный размер и не растворяются в воде для ее очистки предусмотрена система сетчатых фильтров с постепенно уменьшающимся размером ячеек с последующим обеззараживанием керамзитом.

Наиболее опасный поток, отводимый с горячей мойки, представляет собой щелочной раствор (3 % NaOH) и отмытый клей. Так как раствор повторно используется, а не сбрасывается в окружающую среду, он не требует нейтрализации. Наиболее универсальными и часто используемыми являются клеи на каучуковой основе, которые не растворимы в воде и щелочи, что позволяет легко удалить их в отстойных аппаратах под действием сил тяжести. Как и в предыдущих случаях для обеззараживания воды предусмотрена ее фильтрация керамзитом перед возвратом в аппарат.

					<i>ВКР.171052.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						49
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		

4 ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ

В рамках работы был проведен оценочный расчет экономической эффективности проектируемого производства. Несмотря на ряд допущений, по полученным результатам можно предварительно оценить рентабельность производства.

4.1 Расчет капитальных затрат

К капитальным затратам относятся единовременные инвестиционные вложения, идущие на создание предприятия, его пуск и наладку. Находим стоимость оборудования для переработки ПЭТ тары во вторичный гранулят экструзионным методом. Расчет стоимости представлен в таблице 19.

Таблица 19 – Стоимость основного оборудования

Наименование оборудования	Кол-во, шт.	Цена, тыс.руб.	Сумма, тыс.руб.
Кипоразбиватель С-КР-2	1	1300	1300
Ленточный транспортер ЛТР-ПЭТ	1	500	500
Транспортер-металлодетектор ЛТМ-600	1	700	700
Шнековый транспортер ШТР-600	3	500	1500
Отделитель этикетки моющих	1	1500	1500
Дробилка ИРП-600ПЭТ	1	3000	3000
Ванна флотации СТАНКО ВФ-ПЭТ	2	1500	3000
Подогреваемая мойка ИМП-ПЭТ	1	2000	2000
Центрифуга СТАНКО С-800ПЭТ	2	1500	3000
Досушка полимеров СТАНКО ДП-500	1	696	696
Циклон-накопитель ЦН-150	2	100	200
Пульт управления линией	1	Включен в стоимость	
Фильтр расплава НФ-500Н	1	800	800
Экструдер СТАНКО-125	1	5000	5000
Стренговый гранулятор	1	1000	1000
Итого:	20	20096	24196

					<i>ВКР.171052.180301.ПЗ</i>		
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>			
<i>Разраб.</i>	<i>Прихадько К.С.</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>58</i>
<i>Консульт.</i>	<i>Козырь А.В.</i>				АмГУ ИФФ гр. 718-об		
<i>Н. контр.</i>	<i>Родина Т.А.</i>						
<i>Зав. каф.</i>	<i>Гужель Ю.А.</i>						
<i>Разработка технологии переработки ПЭТ тары</i>							

Затраты на неучтенное оборудование примем в размере 5 % от стоимости основного. С целью обеспечения замкнутого водооборота внутри производства был разработан комплекс мер, направленных на очистку потоков разной степени загрязнения. Основываясь на результатах анализа отечественного рынка водоочистного оборудования примем ориентировочную стоимость комплекса очистных сооружений в размере 4000 тысяч рублей. Стоимость пусконаладочных работ принимаем 10 % от стоимости оборудования.

Рассчитываем стоимость пусконаладочных работ:

$$S_{\text{пн}} = (S_{\text{об}} + (S_{\text{об}} \cdot S_{\text{N}}) + S_{\text{оч}}) \cdot K, \quad (38)$$

где $S_{\text{об}}$ – стоимость основного оборудования;

$S_{\text{оч}}$ – стоимость водоочистного оборудования;

S_{N} – затраты на неучтенное оборудование, %;

K – затраты на пусконаладочные работы, %.

$$S_{\text{пн}} = (24196 + (24196 \cdot 0,05) + 4000) \cdot 0,1 = 2940 \text{ тыс.руб.}$$

Капитальные затраты составят:

$$S_{\text{кап}} = S_{\text{об}} + (S_{\text{об}} \cdot S_{\text{N}}) + S_{\text{оч}} + S_{\text{пн}} \quad (39)$$

$$S_{\text{кап}} = 24196 + (24196 \cdot 0,05) + 4000 + 2940 = 32346 \text{ тыс.руб.}$$

4.2 Расчет операционных расходов

К операционным расходам отнесем регулярные затраты, необходимые для осуществления деятельности производства [25]. Предварительно определимся с примерной суммарной площадью производства. С учетом того, что линия по переработке ПЭТ тары во флексу занимает 180 м², с запасом на вспомогательные помещения (30 м²), комплекс очистки воды (60 м²), экструдер и гранулятор (30 м²) примем требуемую производственную площадь 300 м².

Находим площадь склада, исходя из условия обеспечения запаса сырья на 7 рабочих дней. Примерная площадь, занимаемая одной кипой тары весом 300 кг, составляет 1,2 м². Определяем производительность линии по ПЭТ таре:

$$G_{\text{т}} = \frac{G \cdot 1000}{T_{\text{д}}}, \quad (40)$$

					ВКР.171052.180301.ПЗ	Лист
						51
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

где G – годовая потребность в сырье, тонн;

T_d – действительный фонд рабочего времени оборудования, ч.

$$G_T = \frac{1615,13 \cdot 1000}{2728} = 592 \text{ кг/ч}$$

Находим требуемую площадь склада:

$$S = \left(\frac{G_T \cdot t \cdot N}{m} \right) \cdot S_{кип}, \quad (41)$$

где t – продолжительность рабочего дня, ч;

N – количество рабочих дней;

m – вес тары в одной кипе, кг;

S – площадь, занимаемая одной кипой, m^2 .

$$S = \left(\frac{592 \cdot 8 \cdot 7}{300} \right) \cdot 1,2 = 133 \text{ м}^2$$

При размещении кип необходимо учитывать условия их размещения – не более трех слоев по высоте. Для облегчения доступа к ним погрузочной техники имеет смысл размещать их не сплошным массивом, а с проходом, прием площадь склада 100 м^2 . С учетом анализа цен на аренду отапливаемого производственного помещения в Амурской области, для аренды требуемой площади в 400 м^2 была принята средняя стоимость в размере 150000 рублей в месяц.

Номинальную мощность проектируемого производства (с запасом на неучтенное оборудование и освещение) примем равной 450 кВт. Тариф на электроэнергию в Амурской области для юридических лиц составляет $7,2$ рубля за кВт (с учетом НДС) [26]. Находим ежемесячные затраты на электроэнергию:

$$S_{\text{э}} = P \cdot A \cdot t \cdot d, \quad (42)$$

где P – номинальная мощность предприятия, кВт;

A – тариф на электроэнергию;

t – продолжительность рабочего дня, ч;

d – среднее число дней в месяце.

$$S_{\text{э}} = 450 \cdot 7,2 \cdot 8 \cdot 30 = 777600 \text{ рублей}$$

					<i>ВКР.171052.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						52
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		

С учетом того, что внутри предприятия действует замкнутый цикл оборотной воды, примем ее ежедневное потребление 3 м^3 . Этого будет достаточно для компенсации потерь в ходе осуществления технологического процесса и покрытия бытовых нужд работников. Тариф на водоснабжение и водоотведение для юридических лиц составляет соответственно $45,29 \text{ руб./м}^3$ и $58,61 \text{ руб./м}^3$ (с учетом НДС). Находим ежемесячные расходы на воду:

$$S_{\text{вс}} = V \cdot (B_1 + B_2) \cdot d, \quad (43)$$

где V – ежедневное потребление воды;

B_1 – тариф на водоснабжение;

B_2 – тариф на водоотведение;

d – среднее число дней в месяце.

$$S_{\text{вс}} = 3 \cdot (45,29 + 58,61) \cdot 30 = 9351 \text{ рублей}$$

Так как для обеспечения заданной производительности по ПЭТ таре предприятие функционирует без выходных был предусмотрен режим работы «два через два». Расчет фонда заработной платы представлен в таблице 20.

Таблица 20 – Расчет заработной платы

Должность	Количество, человек	Средняя месячная зарплата, руб.
Оператор линии подготовки	2	50000
Оператор экструзионной линии	2	50000
Разнорабочий	6	25000
Кладовщик	2	30000
Слесарь	2	40000
Всего	14	490000

Находим размер операционных расходов без учета стоимости сырья:

$$S_{\text{он}} = S_{\text{ар}} + S_{\text{ээ}} + S_{\text{вс}} + S_{\text{зп}}, \quad (44)$$

где $S_{\text{ар}}$ – стоимость аренды производственного помещения;

$S_{\text{ээ}}$ – затраты на электроэнергию;

$S_{\text{вс}}$ – затраты на водоснабжение;

$S_{\text{зп}}$ – затраты на заработную плату.

$$S_{on} = 150000 + 777600 + 9351 + 490000 = 1426951 \text{ рублей}$$

4.3 Расчет рентабельности

Примем среднюю стоимость сырья, с учетом транспортных расходов, в 20000 рублей за тонну. Цена на вторичную ПЭТ гранулу в среднем составляет 45000 рублей за тонну. Находим годовые затраты на сырье ($S_{сырье}$) и ожидаемую прибыль (Π) от продажи вторичного полиэтилентерефталата:

$$S_{сырье} = G_c \cdot A_c, \quad (45)$$

где G_c – годовое потребление сырья, тонн;

A – стоимость сырья.

$$S_{сырье} = 1615,13 \cdot 20000 = 32302600 \text{ рублей}$$

Рассчитываем прибыль от реализации товарной продукции в виде вторичной ПЭТ гранулы за год:

$$\Pi = G_{гр} \cdot A_{гр} - (S_{on} \cdot 12 + S_{сырье}), \quad (46)$$

где $G_{гр}$ – годовая производительность по ПЭТ грануле, тонн;

$A_{гр}$ – стоимость готового продукта;

$S_{оп}$ – операционные расходы;

$S_{сырье}$ – затраты на сырье, рублей.

$$\Pi = 1364 \cdot 45000 - (1426951 \cdot 12 + 32302600) = 11953988 \text{ рублей}$$

Находим ориентировочную рентабельность производства при условии, что полная себестоимость продукции определяется операционными затратами и стоимостью сырья:

$$P = \frac{\Pi}{S_{on} \cdot 12 + S_{сырье}} \cdot 100 \% \quad (47)$$

$$P = \frac{11953988}{1426951 \cdot 12 + 32302600} \cdot 100 \% = 24 \%$$

Определяем примерный срок окупаемости:

$$T_{ок} = \frac{S_{кап}}{\Pi} \quad (48)$$

$$T_{ок} = \frac{32346000}{11953988} = 2,7 \text{ лет}$$

					ВКР.171052.180301.ПЗ	Лист
						54
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе выполнения выпускной квалификационной работы для реализации поставленных целей и задач, а также для формирования и развития компетенций, необходимых для работы в профессиональной сфере, была изучена научная документация по вопросам вторичной переработки полиэтилен-терефталата; изучены характеристики перерабатываемого сырья и требования к готовой вторичной продукции. Составлен материальный баланс проектируемого производства, выполнен технологический расчет экструдера и осуществлен подбор оборудования для подготовки сырья к переработке. Разработана производственная линия, предназначенная для переработки использованной ПЭТ тары во вторичный гранулят, проектной мощностью 600 кг тары в час и составлена ее технологическая схема.

Проведен анализ экономической эффективности проектируемого производства, в ходе которого было установлено, что его рентабельность составляет 24 %. Расчетный срок окупаемости 2,7 лет.

					<i>ВКР.171052.180301.ПЗ</i>		
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>			
<i>Разраб.</i>	<i>Приходько К.С.</i>				<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Пров.</i>	<i>Охотникова Г.Г.</i>				<i>У</i>	<i>55</i>	<i>58</i>
<i>Консульт.</i>	<i>Козырь А.В.</i>				<i>Разработка технологии переработки ПЭТ тары</i>		
<i>Н. контр.</i>	<i>Родина Т.А.</i>						
<i>Зав. каф.</i>	<i>Гужель Ю.А.</i>						
					<i>АМГУ ИФФ гр. 718-об</i>		

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1 Производство полиэтилентерефталата [Электронный ресурс] : «Полиолефин». – Режим доступа: [https:// www.poliolefins.ru/stat/polimer](https://www.poliolefins.ru/stat/polimer). – 21.02.21.

2 Гуль, В. Е. Структура и механические свойства полимеров : справочник / В. Е. Гуль. – М. : Высшая школа, 1996. – 128 с.

3 Характеристика ПЭТ [Электронный ресурс] : «ПолимерИнвест». – Режим доступа: <https://polim-invest.ru/petf>. – 05.03.21.

4 Кабанов, В. А. Энциклопедия полимеров : справочник / В. А. Кабанов. – М. : «Советская энциклопедия», 1987. – 575 с.

5 Производство гранулята полиэтилентерефталата аморфного и высоковязкого : технологический регламент ОАО «Полиэф». – Республика Башкортостан, г. Благовещенск, 2009. – 59 с.

6 Кудашев, С. В. Полиэтилентерефталат : особенности модификации, структура и направления рециклинга : моногр. / С. В. Кудашев. – Волгоград, 2014. – 148 с.

7 Грудников, И. Б. Основы промышленного получения полиэтилентерефталата : моногр. / И. Б. Грудников. – СПб. : Профессия, 2010. – 130 с.

8 Русаков, П. В. Производство полимеров : учебник для вузов / П. В. Русаков. – М. : Высшая школа, 1988. – 218 с.

9 Яшкарова, М. Г. Полимерные комплексы : получение, свойства, применение : моногр. / Г. М. Яшкарова. – Семипалатинск, 2003. – 154 с.

10 Шайерс, Дж. Рециклинг пластмасс / Дж. Шайерс // Наука, технологии, практика : сб. науч. тр. / Научные основы и технологии, – Москва, 2012. – С. 37-54.

					<i>ВКР.171052.180301.ПЗ</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>	<i>Приходько К.С.</i>				<i>Разработка технологии переработки ПЭТ тары</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Пров.</i>	<i>Охотникова Г.Г.</i>					<i>У</i>	<i>56</i>	<i>58</i>
<i>Консульт.</i>	<i>Козырь А.В.</i>					<i>АМГУ ИФФ зр. 718-об</i>		
<i>Н. контр.</i>	<i>Родина Т.А.</i>							
<i>Зав. каф.</i>	<i>Гужель Ю.А.</i>							

11 Керницкий, В. И. Переработка отходов полиэтилентерефталата : научная статья / В. И. Керницкий // Полимерные материалы. – Тверь, 2014. – С. 11-21.

12 Галиуллина, Л. Р. Химический рециклинг ПЭТФ : научная публикация / Л. Р. Галиуллина // Материалы VI Международной конференции «Перспективные полимерные материалы». – Саратов, 2013. – С. 208-219.

13 Бондалетова, Л. И. Процессы переработки сырья и рациональное использование природных ресурсов : диссертация / Л. И. Бондалетова – Томск. : Изд-во ТПУ, 2006. – 56 с.

14 Андрейцев, Д. Ф. Технические и экономические проблемы вторичной переработки и использования полимерных материалов : учебник для вузов / Д. Ф. Андрейцев. – М. : Высшая школа, 1992. – 383 с.

15 Клинков, А. С. Утилизация и вторичная переработка тары и упаковки из полимерных материалов : моногр. / А. С. Клинков, П. С. Беляев, В. К. Скуратов. – Тамбов. : Изд-во Тамб. гос. техн. университета, 2010. – 100 с.

16 ГОСТ Р 51695-2000 Полиэтилентерефталат. Общие технические условия. – введ. 2002-01-01. – М. : Стандартинформ, 2008. – 14 с.

17 Производство хлопьев ПЭТФ «микс», предназначенных для реализации : технологический регламент ООО «Завод по переработке пластмасс Пларус». – г. Солнечногорск, 2016. – 29 с.

18 Бобович, Б. Б. Утилизация отходов полимеров : учебник для вузов / Б. Б. Бобович. – М. : «СП Интермет Инжиниринг», 1999. – 445 с.

19 Давыдова, О. В. Рециклинг полиэтилентерефталата с целью получения востребованной продукции : научная статья / О. В. Давыдова // Экология. Использование полимерных материалов. – Уфа, 2013. – с. 39 – 52.

20 Овчинникова, Г. П. Рециклинг вторичных полимеров : учебное пособие / Г. П. Овчинникова, С. Е. Артеменко. – Саратов. : Саратовский гос. техн. университет, 2000. – 183 с.

					<i>ВКР.171052.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						57
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		

21 Доманский, И. В. Машины и аппараты химических производств: примеры и задачи : учебное пособие / И. В. Доманский, В. П. Исаков, Г. М. Островский. – Л. : Машиностроение, Ленингр. отделение, 1990. – 384 с.

22 Шембель, А. С. Сборник задач и проблемных ситуаций по технологии переработки пластмасс : учебное пособие / А. С. Шембель, О. М. Антипина. – СПб. : Химия, 1997. – 272 с.

23 Ла Мантиа, Ф. Вторичная переработка пластмасс : учебное пособие для вузов / Ф. Ла Мантиа ; пер. с англ. под ред. Г. Е. Заикова – СПб. : Профессия, 2007. – 400 с.

24 ГОСТ Р 55064-2012 Натр едкий. Технические условия. – введ. 2013-10-01. – М. : Стандартинформ, 2019. – 45 с.

25 Учет затрат на производство продукции [Электронный ресурс] : «Клобби». – Режим доступа: <https://clobbi.com/ru/products/charges>. – 10.05.21.

26 Тарифы для юридических лиц [Электронный ресурс] : «ДЭК». – Режим доступа: https://www.dvec.ru/amursbyt/private_clients/tariffs. – 16.05.21.

					<i>ВКР.171052.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						58
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		

Вода

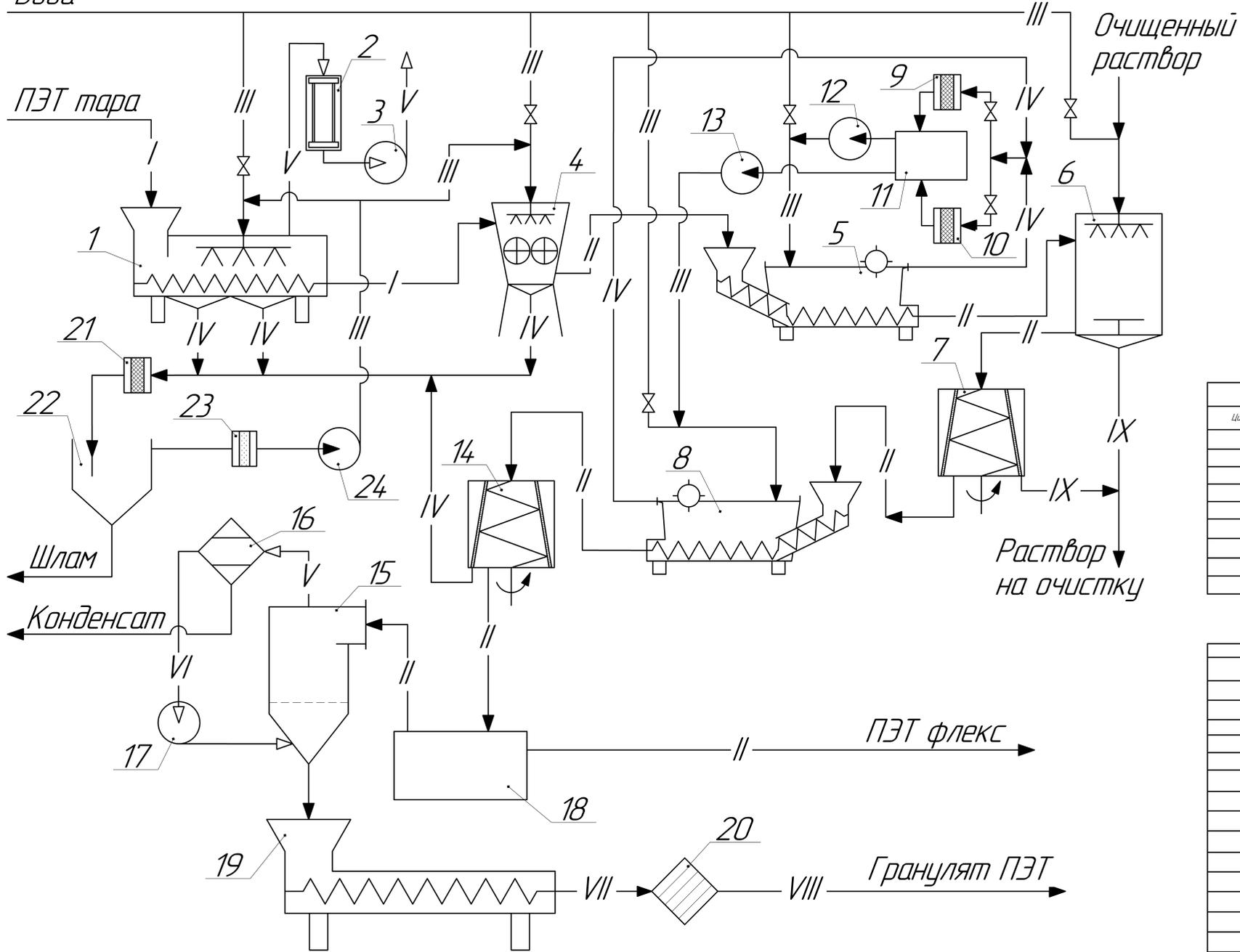


Таблица потоков

Условные обозначение		Наименование потока
Цифровое	Графическое	
I		ПЭТ тара
II		ПЭТ флекса
III		Вода
IV		Загрязненная вода
V		Воздух
VI		Сухой воздух
VII		Раствор ПЭТ
VIII		Гранулят ПЭТ
IX		Мокрый раствор на очистку

Таблица оборудования

Обозначение	Наименование	Кол.
1	Мокрый отделитель этикетки	1
2	Воздушный гофрированный фильтр	1
3, 17	Компрессор	2
4	Дробилка	1
5, 8	Флотационная мойка	2
6	Подогреваемая мойка	1
7, 14	Центрифуга	2
9, 10, 21	Сетчатый фильтр	3
11, 18	Буферная емкость	2
12, 13, 24	Насос	3
15	Сушилка	1
16	Осушитель воздуха	1
19	Экструдер	1
20	Гранулятор	1
22	Отстойник	1
23	Керамзитовый фильтр	1

ВКР.171052.180301СХ

Имя	Кол.	Лист	Итого	Лист	Итого	Лист	Итого
Разработчик	1	1	1	1	1	1	1
Проверенный	1	1	1	1	1	1	1
Т. Конструктор	1	1	1	1	1	1	1
Н. Конструктор	1	1	1	1	1	1	1
Итого	4	4	4	4	4	4	4

Разработка технологии переработки ПЭТ тара

Технологическая схема

АМГУ ИКФР
718 зр.
Фирма А1

Лист 1 из 1