

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

« ____ » _____ 2022 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему: Новые технологии переработки ПЭТ-отходов

Исполнитель

студент группы 818-об _____ В. А. Карпенко
(подпись, дата)

Руководитель

доцент, канд. техн. наук _____ Ю.А. Гужель
(подпись, дата)

Консультант

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

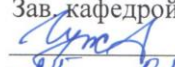
Нормоконтроль

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

Благовещенск 2022

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
«25» 05 2022г.

ЗАДАНИЕ

К выпускной квалификационной работе студента Карпенко Валентины Андреевны

1. Тема выпускной квалификационной работы: «Новые технологии переработки ПЭТ-отходов» утверждена Приказом от 04.04.2022 г № 115-ОД
2. Срок сдачи студентом законченной работы 23.06.2022 г.
3. Исходные данные к выпускной квалификационной работе: Состав одной ПЭТ бутылки – ПЭТ 80 %, крышка 7 %, клей, этикетка, примеси 13 %. Производительность экструдера по сырью – 1,189 т/ч. Время работы линии – 8400 часов. Литературные данные. Технологическая документация, нормативная и иная документация
4. Содержание выпускной квалификационной работы (перечень подлежащих разработке вопросов): Литературный обзор по технологиям вторичной переработке ПЭТ-отходов. Составление и описание технологической схемы. Материальный баланс. Технологический расчет и подбор оборудования. Инвестиционная привлекательность проекта. Безопасность и экологичность производства.
5. Перечень материалов графической части: Технологическая схема установки переработки ПЭТ-отходов.
6. Консультанты по выпускной квалификационной работе Козырь А. В., канд. техн. наук, доцент – раздел «Безопасность и экологичность производства»
7. Дата выдачи задания 25.05.2022 г.

Руководитель выпускной квалификационной работы: Гужель Юлия Александровна, канд. техн. наук, доцент

Задание принял к исполнению 25.05.2022 г.



РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 57 с., 17 рисунков, 6 таблиц, 21 литературный источник.

ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТ, ВТОРИЧНАЯ ПЕРЕРАБОТКА, НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ФЛЕКС, ВТОРИЧНОЕ СЫРЬЕ, ЭКОНОМИКА ЗАМКНУТОГО ЦИКЛА, РЕЦИКЛИНГ, ЭКСТРУДЕР, МАТЕРИАЛЬНЫЙ БАЛАНС

В работе подобрана и проанализирована литература для рассмотрения существующих методов переработки ПЭТ-отходов. На основании этих данных разработана технологическая схема первичного производства ПЭТ с внедрением «зеленой гранулы» в объеме 10 % от производственной мощности первичного производства ПЭТ и составлено ее описание.

Выполнен расчет основного экструзионного оборудования, выбрано основное технологическое оборудование для подготовки вторичного сырья к переработке. Составлен материальный баланс производства вторичной переработки ПЭТ-отходов. Рассчитаны основные показатели инвестиционной привлекательности проекта.

					<i>ВКР.181132.18.03.01.ПЗ</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Карпенко В.А.</i>			<i>Новые технологии переработки ПЭТ-отходов</i>	<i>Лит</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Пров.</i>		<i>Гужель Ю.А.</i>				<i>у</i>	<i>3</i>	<i>57</i>
<i>Н. контр.</i>		<i>Родина Т.А.</i>				<i>АмГУ ИФФ</i>		
<i>Зав. каф</i>		<i>Гужель Ю.А.</i>				<i>Гр. 818-об</i>		

СОДЕРЖАНИЕ

Определения, обозначения, сокращения	5
Введение	6
1 Литературный обзор	7
1.1 Общие сведения о вторичной переработке	7
1.2 Проблемы переработки полимерных отходов	11
1.3 Методы переработки	13
1.3.1 Механический рециклинг ПЭТ-отходов	13
1.3.2 Химический рециклинг ПЭТ-отходов	17
1.3.3 Термический рециклинг ПЭТ-отходов	21
1.4 Инновации в технологии переработки ПЭТ-отходов	22
1.4.1 Процесс «VolCat»	22
1.4.2 Технология «IN-MELT»	23
1.4.3 Технология «bottle-to-bottle»	24
2 Технологическая часть	27
2.1 Описание технологической схемы	27
2.2 Технологический расчет экструдера	32
2.3 Расчет материального баланса	38
2.4 Выбор оборудования для подготовки вторичного сырья к переработке	41
3 Экономическая часть	47
4 Безопасность и экологичность производства	51
4.1 Влияние опасных производственных факторов	51
4.2 Воздействие на окружающую среду жидких отходов	53
Заключение	55
Библиографический список	56

					<i>ВКР.181132.18.03.01.ПЗ</i>					
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>						
<i>Разраб.</i>	<i>Карпенко В.А.</i>				<i>Новые технологии переработки ПЭТ-отходов</i>			<i>Лит</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Пров.</i>	<i>Гужель Ю.А.</i>							у	4	57
<i>Н. контр.</i>	<i>Родина Т.А.</i>				<i>АмГУ ИФФ Гр. 818-об</i>					
<i>Зав. каф</i>	<i>Гужель Ю.А.</i>									

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ

DRP – дисконтированный срок окупаемости;

NPV – чистый дисконтированный доход;

rPET – переработанный полиэтилентерефталат;

ДМТ – диметилтерефталат;

ДМФ – диметилформаид;

МЭГ – моноэтиленгликоль;

ПВДХ – поливинилиденхлорид;

ПВХ – поливинилхлорид;

ПЭ – полиэтилен;

ПЭТ – полиэтилентерефталат;

ПЭТФ-КМ – полиэтилентерефталат, модифицированный полиэтиленом
высокого давления;

ТФК – терефталевая кислота;

ЭВА – этиленвинилацетат;

ЭГ – этиленгликоль.

					<i>ВКР.181132.18.03.01.ПЗ</i>		
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>			
<i>Разраб.</i>	<i>Карпенко В.А.</i>				<i>Лит</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Пров.</i>	<i>Гужель Ю.А.</i>				<i>у</i>	<i>5</i>	<i>57</i>
<i>Н. контр.</i>	<i>Родина Т.А.</i>				<i>Новые технологии переработки ПЭТ-отходов</i>		
<i>Зав. каф</i>	<i>Гужель Ю.А.</i>						

ВВЕДЕНИЕ

Пластиковые отходы занимают от 8 до 12 % всех твердых коммунальных отходов. 80 % всего мусора в океане – пластик. Загрязнение окружающей среды пластиковыми отходами привело к регуляторным изменениям, инициативам от компаний, технологической модернизации производств, реализации новых бизнес-моделей. Пластики благодаря своим свойствам являются драйвером экономики замкнутого цикла. Внедрение принципов экономики замкнутого цикла приносит значительные экономические и экологические выгоды современному обществу.

В работе рассмотрена вторичная переработка ПЭТ-отходов как элемент экономики замкнутого цикла. Вторичная переработка ПЭТ-отходов по сравнению с другими пластиками имеет следующие преимущества: наиболее распространенный вид тары; легко перерабатывается; возможность многократного использования в качестве вторичного сырья; вторичный ПЭТ гомогенизируется легче, чем другие пластмассы

Цель выпускной квалификационной работы – изучение новых технологий по вторичной переработке ПЭТ-отходов.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

- 1) изучить основные методы переработки ПЭТ-отходов;
- 2) рассмотреть инновации в технологии переработки ПЭТ-отходов;
- 3) разработать технологическую схему первичного производства ПЭТ с внедрением вторичного сырья;
- 4) подобрать необходимое оборудование для вторичной переработки отходов полиэтиленетерефталата;
- 5) произвести технологический расчет экструдера;
- б) рассчитать инвестиционную привлекательность проекта.

					<i>ВКР.181132.18.03.01.ПЗ</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>	<i>Карпенко В.А.</i>				<i>Новые технологии переработки ПЭТ-отходов</i>	<i>Лит</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Пров.</i>	<i>Гужель Ю.А.</i>					<i>у</i>	<i>6</i>	<i>57</i>
<i>Н. контр.</i>	<i>Родина Т.А.</i>					<i>АмГУ ИФФ</i>		
<i>Зав. каф</i>	<i>Гужель Ю.А.</i>					<i>Гр. 818-об</i>		

1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

1.1 Общие сведения о вторичной переработке

ПЭТ – самый распространенный вид пластика для производства упаковки. Преимущество данного полимера – возможность бесконечной переработки и получение чистого вторичного сырья высокого качества.

Рециклинг – это переработка полимера, в результате которой из использованного изделия получают вторичное сырье, готовое для дальнейшего использования в производстве нового полимерного изделия.

Рециклинг ПЭТ-отходов решит проблему утилизации пластикового мусора и может стать прибыльным бизнесом. Научные исследования показали, что сырье, полученное в процессе переработки пластиковых бутылок, может быть использовано для изготовления востребованной продукции.

В рамках вторичной переработки существует два вида ПЭТ: бутылочный и небутылочный. К небутылочному виду относятся нестандартные бутылки и банки (упаковка для косметики, бытовой химии и т.п.) и листовой термоформованный ПЭТ (одноразовая посуда, контейнеры для фруктов и т.п.), они имеют меньшую толщину и очень разнообразны по формам и размерам, в свою очередь бутылочной считается тара от питьевых жидкостей – воды, молока и других. Переработка небутылочного ПЭТ вызывает трудности из-за остатков агрессивных сред и наличия в пластике большого количества красителя, также его легко спутать с похожими контейнерами из полипропилена и полистирола.

Среди бытового мусора преобладает пластиковая бутылка. Смешанные пластмассы имеют более низкое качество и дают продукты с плохими и неоднородными свойствами, в то время как отсортированные потоки могут использоваться в изделиях высокого качества [1].

Применение вторично переработанного сырья позволяет уменьшить по-

					<i>ВКР.181132.18.03.01.ПЗ</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>	<i>Карпенко В.А.</i>				<i>Новые технологии переработки ПЭТ-отходов</i>	<i>Лит</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Пров.</i>	<i>Гужель Ю.А.</i>					<i>у</i>	<i>7</i>	<i>57</i>
<i>Н. контр.</i>	<i>Родина Т.А.</i>					<i>АмГУ ИФФ Гр. 818-об</i>		
<i>Зав. каф</i>	<i>Гужель Ю.А.</i>							

требление энергии, сократить использование свежего сырья, уменьшить загрязнение воздуха и воды в результате захоронения, то есть уменьшить потребность в «традиционной» утилизации отходов. Полимерные изделия после вторичного использования сохраняют практически все свои свойства, поэтому вторичная переработка (рециклинг) является наиболее эффективным и экологически чистым способом, который дает вторую жизнь отходам полимеров.

Полученные вторичные материалы, значительно снижают расходы на производство полимерных изделий. Продукция может производиться из вторичного сырья или из первичного сырья с добавкой переработанных полимеров.

Основные стадии процесса переработки ПЭТ-отходов:

1) Сбор сырья – создание пунктов приема; сотрудничество с мусорными полигонами; установка на улицах урн для бутылок; размещение автоматов для автоматизированной сборки сырья у населения.

2) Сортировка – отделение ПЭТ-тары от других материалов и дальнейшая сортировка по цветам.

3) Очистка – удаление этикеток, остатков содержимого, пыли, грязи и клея.

4) Дробление – измельчение и удаление остатков этикеток.

5) Выгрузка и расфасовка.

Первичную сортировку ПЭТ-бутылок проводят в приемных пунктах и на мусоросортировочных заводах, а также на свалках, при этом основное внимание уделяется сортировке по цвету. Идентификация бутылок, не вызывает затруднений поскольку все бутылки из-под напитков изготовлены из ПЭТ, а на бутылках из-под других жидкостей, изготовленных из ПЭТ, нанесена маркировка – знак рециклинга с цифрой «1», представленной на рисунке 1.



Рисунок 1 – Международный знак ПЭТ

					<i>ВКР.181132.18.03.01.ПЗ</i>	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		8

Собранные бутылки обычно прессуют в кипы, и отправляют на переработку.

Также для упрощения сортировки помимо универсальной маркировки пластиковый изделий используют химические метки и цифровое штрихкодирование. Обе системы направлены на автоматизированную сортировку, которая происходит на мусоросортировочных комплексах, например, с помощью химических меток в ультрафиолетовом свете этикетки ПВХ светятся иначе, чем бутылка из ПЭТ, цифровое штрихкодирование заключается в нанесении невидных человеческому глазу рельефов, которые считываются только аппаратом. Преимуществом цифрового штрихкодирования заключается в его стирании после переработки и это никак не влияет на полученные материалы, в отличие от химических меток, которые могут загрязнить вторичное сырье.

На выходе получают фракции – ПЭТ-хлопья (ПЭТ-флекс). Флекс является вторичным сырьем, к которому не предъявляются высокие требования. Для получения более качественного и дорого сырья готовый флекс превращают в гранулы [2].

Гранулированный пластик – сухой сыпучий пластик, плотно спрессованный в твердые частицы круглой, цилиндрической или кубической формы. Гранулирование позволяет сохранить первоначальные свойства исходного сырья, одновременно устраняя недостатки, характерные для порошкового состояния.

Преимущества переработки ПЭТ – отходов с целью получения вторичного сырья:

- 1) сохранение природных ресурсов, так как происходит замена части первичного сырья вторичным;
- 2) уменьшение нагрузки на объекты хранения и захоронения мусора: свалки и полигоны, в результате их количество перестает расти;
- 3) сохранение экосистемы: в атмосферу, почву и воду попадает меньше токсичных компонентов;
- 4) развитие бизнеса: дополнительный или основной заработок.

					<i>ВКР.181132.18.03.01.ПЗ</i>	Лист
						9
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

Факторы, влияющие на качество вторичного сырья:

1. Цвет

При совместной переработке разноцветных ПЭТ бутылок, конечным продуктом является смесь хлопьев различных цветов, что является непригодным сырьем для получения бесцветных материалов, также появляется сложность в поднятии характеристической вязкости.

2. Наличие ПВХ

Бутылки, изготавливаемые из ПВХ для растительного масла, схожи по внешнему виду с ПЭТ, также в крышках могут присутствовать ПВХ вкладыши. ПВХ оказывает негативное воздействие на вторичную переработку, так как разлагает ПЭТ в процессе термической переработки хлопьев. Хотя доля ПВХ в общем потоке сырья ничтожно мала, для сепарации этого типа пластиков необходимо использовать специальный детектор.

3. Наличие металлов

Металл может присутствовать в ПЭТ в ходе некачественной сортировки, а это вызывает разрушение ножей дробилки, более крупные куски металла могут даже являться причиной поломки ротора. Металлические частицы, смешанные с ПЭТ хлопьями, являются причиной поломок экструдеров, стоимость ремонта которых чрезвычайно высока, а иногда и вообще может потребоваться замена основных элементов этих агрегатов.

4. Остатки клея

Обычные типы водорастворимого клея легко удаляются, однако на рынке присутствует ряд клеев, которые сложнее отделить от ПЭТ. Горячеплавные клеи, латексные, некоторые акрилаты имеют повышенную степень адгезии к полимеру, не растворяются в воде и нуждаются в дополнительной обработке. Если на ПЭТ- хлопьях присутствует некоторое количество водонерастворимого клея, это повлияет на цвет полимера при дальнейшей переработке вследствие образования сополимеров. Расплав и гранулы приобретут желтоватый оттенок.

Полимерные отходы являются экологически опасными так как обладают стойкостью к саморазложению, это говорит о необходимости и целесообразно-

					<i>ВКР.181132.18.03.01.ПЗ</i>	Лист
						10
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

сти вторичной переработки полимерных отходов. Существует несколько методов переработки полимеров, применение того или иного способа зависит от исходного материала [1].

1.2 Проблемы переработки полимерных отходов

В качестве основной проблемы утилизации пластиковых бутылок является недостаточная организация сбора отходов потребления ПЭТ. В связи с этим рекомендуется организовывать отдельный сбор ПЭТ-бутылок от населения, предприятий торговли, на городских и несанкционированных свалках.

Типичные загрязнители и продукты их термолиза схематически показаны на рисунке 2.



Рисунок 2 – Типичные загрязнители и продукты их термолиза

Загрязнители, такие как ПВХ, ПВДХ, клеи, ЭВА, бумага и другие генерируют кислотные соединения, которые катализируют гидролиз сложноэфирных связей ПЭТ. Хлопья ПВХ из бутылок будут давать соляную кислоту, в то время как ЭВА из прокладок крышек выделяет уксусную кислоту, а канифольевые клеи наклеек дают карбоновые кислоты, такие как абиетиновая кислота ($C_{19}H_{29}COOH$). Прокладки из ПВХ в крышках бутылок создают, в частности, проблему в процессе вторичной переработки ПЭТ, так как после размола фрагменты ПВХ по большей части трудно отделить от хлопьев ПЭТ – ПЭТ и ПВХ имеют почти одну и ту же плотность. Бумага от наклеек может вызывать трудности при вторичной переработке ПЭТ, если она размельчается во время про-

мывки и разделения. Из фрагментов бумаги могут высвободиться целлюлозные волокна, которые трудно удалить из перерабатываемого полимера. Бумажные наклейки могут быть удалены с помощью воздушной сепарации и промывки водой. Трение измельченных отходов при обработке стирает остатки адгезива с поверхности пластика, поэтому ключом к успешной промывке является тщательное перемешивание.

Клей, использованный на бутылках из ПЭТ, может быть или водорастворимым, или типа горячего расплава. Водной промывки достаточно, чтобы удалить водорастворимый клей, но, чтобы удалить клеи типа горячего расплава, необходима стадия промывки растворителем. Для этих целей применялись тетрахлорэтилен, гексан и уайт-спирит. Промывку водой проводят в две стадии: сначала стадия промывки в горячей воде при 80 °С, затем холодной водой. Горячая вода обычно содержит 2 % NaOH и моющих средств. Этот двухстадийный процесс является предпочтительным, так как важно, чтобы в промытом ПЭТ не оставалось никаких остатков щелочных промывных агентов. Поскольку для получения ПЭТ могут быть использованы различные производственные процессы, вторично переработанный ПЭТ обычно содержит смесь остатков катализаторов и добавок. Ионы металлов, таких как сурьма, кобальт и марганец, стимулируют реакции трансэтерификации и поликонденсации, делая вторично переработанный ПЭТ химически гетерогенным, а также могут повлиять на реологическое поведение расплава от партии к партии. Для выделения металлов выраженными магнитными свойствами проводят магнитную сепарацию, также применяют электростатический метод для отделения цветных металлов. В кипах бутылок из ПЭТ, полученных во время процесса пакетирования, также могут быть скрыты бутылки из ПВХ. Когда эти бутылки измельчаются в хлопья и перерабатываются, загрязнения из ПВХ очень сильно деструктируются при температурах переработки использованного ПЭТ и вызывают экстенсивное изменение цвета и появление черных точек из-за присутствия обуглившихся частиц [3].

Более того, в процессе сушки и переработки вторичный материал претер-

					<i>ВКР.181132.18.03.01.ПЗ</i>	Лист
						12
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

певает некоторую потерю вязкости, что вызвано не только температурными и деформирующими воздействиями в процессе пластикации полимера, но и присутствием загрязнителей (влаги, клея, красителей и другие). Эти факторы приводят к снижению молекулярной массы полимера.

Недостаточная сушка может значительно ухудшить свойства как первичного, так и вторичного материала.

Другая проблема переработки ПЭТ-отходов связана с вероятным присутствием в них поливинилхлорида. Даже при тщательной сортировке ПЭТ-бутылок есть вероятность попадания ПВХ и ПЭ примесей в состав вторичного материала. При температуре переработки ПЭТ ПВХ разлагается, выделяя соляную кислоту, которая вызывает интенсивную деструкцию полимера. Поэтому нужно максимально снизить присутствие ПВХ в составе ПЭТ-отходов [4].

При полимеризации ПЭТ в расплаве выделяется ацетальдегид, который переходит в твердое аморфное состояние при охлаждении и грануляции. Частично он выделяется во время твердофазной полимеризации, и в исходных гранулах может оставаться до 1,5 ppm (миллионной доли) ацетальдегида. Образование ацетальдегида связано переходом из твердого раствора в газообразное или жидкое состояние при высоких температурах. Количество выделенного ацетальдегида может быть уменьшено, при оптимальных условиях литья, то есть снижении температуры [5].

1.3 Методы переработки

1.3.1 Механический рециклинг ПЭТ-отходов

Механический рециклинг – технология переработки, при которой полимерный материал подвергается только физико-механическим воздействиям, не затрагивающим (или затрагивающим в малой степени) его химическое строение. Механический рециклинг включает переработку как чистых, незагрязненных, однотипных отходов, так и смеси полимерных материалов с определенной степенью загрязнения. Данный метод отличается от других простотой и низкими затратами.

					<i>ВКР.181132.18.03.01.ПЗ</i>	Лист
						13
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

К механической переработке полимерных материалов относят:

- 1) измельчение сырья с помощью резательных и измельчительных машин, дробилок;
- 2) отделение полимеров от отходов других материалов, а также друг относительно друга;
- 3) очистка – промывание водой;
- 4) сушка;
- 5) составление смесей вторичного ПЭТ.

Механическая вторичная переработка ПЭТ является относительно простой, требует малых капиталовложений, не оказывает неблагоприятного воздействия на окружающую среду.

Вторичная переработка ПЭТ механическим способом имеет определенные трудности и ограничения.

1) Следы от наклеек и клеев (на основе канифольевых кислот и сложных эфиров) приводят к изменению цвета ПЭТ и потере прозрачности.

2) ПЭТ, недостаточно высушенный и содержащий остаточную влагу, легко разрушается при переработке.

3) Продукты термической и окислительной деструкции снижают механические свойства ПЭТ.

4) Перед переработкой ПЭТ необходимо провести специальную обработку и сушку, поэтому его нельзя использовать в обычном оборудовании литья и экструзии [4].

На рисунке 3 представлен пример механического рециклинга по вторичной переработке ПЭТ из бутылок для безалкогольных напитков. Бутылки из ПЭТ собираются и сортируются вручную или с помощью оборудования, различающего цвет. При машинной сортировке распознаются посторонние материалы, такие как ПВХ, стекло и другие, извлекаются, далее происходит сортировка бутылок по размеру и форме. Бутылки затем соединяются в кипы и отправляются на завод по вторичной переработке.

					<i>ВКР.181132.18.03.01.ПЗ</i>	Лист
						14
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

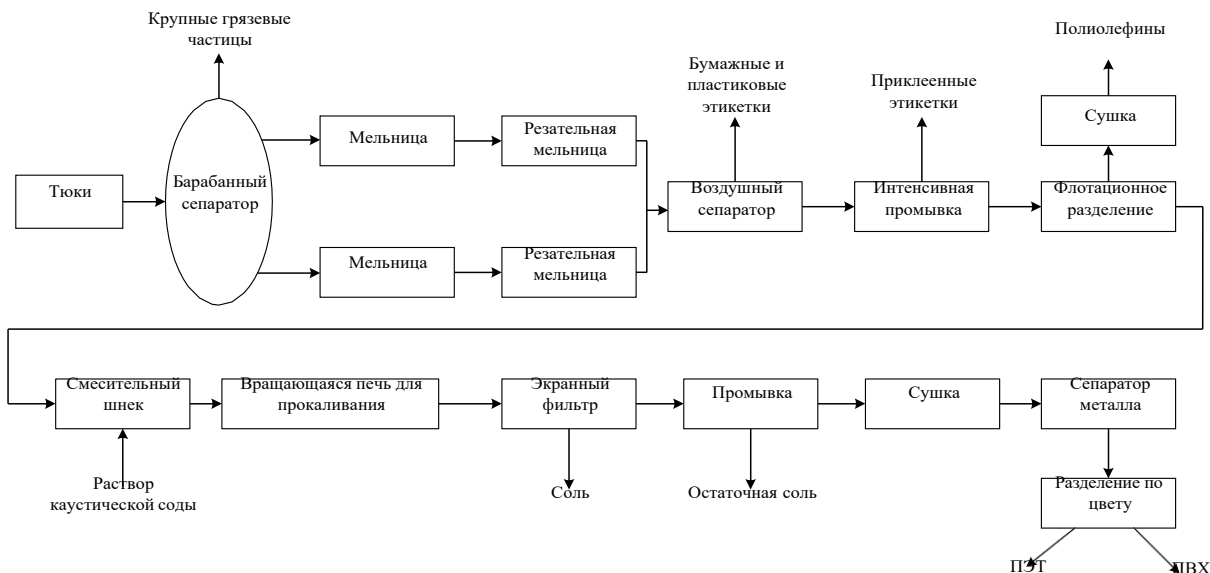


Рисунок 3 – Схема механического рециклинга ПЭТ бутылок

Кипы бутылок из ПЭТ перемещаются погрузчиком на ленту конвейера. Кипы разбиваются в барабане сепаратора, и из них удаляются крупные частицы грязи. Бутылки режутся на крупные фрагменты на двух резаках, а затем на режущих мельницах превращаются в частицы одинакового размера.

В результате получается смесь из измельченных бутылок из ПЭТ, этикеток и бутылочных крышек. Бумага и этикетки отделяются от потока с помощью воздушного сепаратора, затем остатки этикеток смываются в ходе интенсивной мойки. Далее следует флотационный процесс. Данный процесс отделяет легкие фракции (бутылочные крышки из полиолефинов) от тяжелой фракции (ПЭТ) и после сушки полиолефины повторно используются.

Для удаления загрязнений частицы ПЭТ далее смешиваются с раствором каустической соды (NaOH) в емкости с мешалкой, и эта смесь медленно (несколько часов) движется через вращающуюся сушильную печь длиной 26 м. Под действием температуры и потока воздуха посторонние материалы в конце сушильной печи удаляются, а суспензия чистого ПЭТ фильтруется.

Далее ПЭТ промывается и сушится. Чтобы гарантировать цветовую чистоту переработанного материала, он поступает в сортировщик со спектромет-

ром, определяющим цвет. В спектрометре спектр каждой частицы сравнивается с опорным сигналом. Пневматические сопла удаляют несортированный материал. Рекуперированный ПЭТ, доработанный с помощью этой системы, настолько чист, что его можно повторно использовать на 100 % для изготовления бутылок.

Для переработки ПЭТ-отходов используют дробилки, мельницы, грануляторы. Под механическим и тепловым воздействием отходы переходят в смолopodobное состояние. Затем на выходе из гранулятора расплав продавливают через калибровочные отверстия и нарезают на гранулы, которые затем охлаждаются. Иногда этот процесс проводят с использованием различных стабилизаторов, модификаторов, красителей и других добавок, повышающих качество гранулята. Вторичный полиэтилентерефталат может быть использован в качестве добавки для улучшения физико-механических или электромеханических характеристик другого полимера [5].

При агломерации из пленки получают окатыши (компактные зерна) произвольной формы с достаточно высокой насыпной плотностью и хорошей сыпучестью.

Агломерация – процесс спекания и еще большего измельчения частиц пластика. Флекс поступает в агломератор – специальную емкость с электродвигателем. В ней хлопья ПЭТ разрезаются на более мелкие куски. Процесс осуществляется с очень высокой скоростью. При разрезании и перемешивании между частицами возникает сила трения, благодаря которой значительно повышается температура массы, и частицы спекаются. Получаемый агломерат либо подвергается дальнейшей переработке, либо в таком виде уже может поступать в продажу.

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.

					<i>ВКР.181132.18.03.01.ПЗ</i>	Лист
						16
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

Наиболее эффективны дисковые агломераторы непрерывного действия, когда отходы ПЭТ, измельченные до размера хлопьев 5-10 мм, непрерывно подаются в зону агломерации.

Одним из наиболее распространенных способов переработки измельченных отходов полиэтилентерефталата является экструзия. Для этой цели используют как одно-, так и двухшнековые экструдеры.

ПЭТ перерабатывается литьем под давлением во всех типах литьевых машин, предназначенных для переработки термопластов. При этом необходимо соблюдать чрезвычайно жесткий режим во избежание деструкции полимера.

Для литья полиэтилентерефталат смешивают с полиэтиленом высокого давления и модификаторами до получения композиции, по свойствам близкой к ПЭТФ-КМ (литьевой лавсан). Температура расплава такой композиции 250-260 °С. При повышении ее более 280 °С возможна деструкция. Полностью аморфная структура получается при температуре формы 50 °С. Аморфные изделия обладают лучшей стойкостью к ударным нагрузкам, но более низкой температурой эксплуатации.

Следует учитывать влияние скорости впрыска на качество изделий. При малой скорости впрыска могут возникать утяжины, при большой – расслоения. Цикл литья зависит от ряда факторов и, как правило, определяется для каждого изделия экспериментально. С повышением толщины изделия выдержка под давлением увеличивается. В отличие от некоторых термопластов усадка литьевого лавсана полностью происходит в форме и в дальнейшем при комнатной температуре отсутствует. Усадка при литье повышается с увеличением температуры формы [6].

1.3.2 Химический рециклинг ПЭТ-отходов

Химический рециклинг – переработка твердого пластика в жидкие или газообразные продукты. Химический рециклинг – другой распространенный метод переработки отходов потребления. Однако, затраты на оборудование слишком высоки, для обеспечения рентабельности производства необходим большой товарооборот.

					<i>ВКР.181132.18.03.01.ПЗ</i>	Лист
						17
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

Химические способы переработки пластиковых отходов в основном направлены на использование пластиковых отходов, потерявших первичные свойства и которые сложно переработать механическими способами.

Направление охватывает наиболее распространенный, экономичный, непрерывный и безопасный для окружающей среды способ переработки отходов ПЭТ – деполимеризацию. Деполимеризация полиэтилентерефталата 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. Процесс деполимеризации остается весьма дорогим способом переработки вторичных пластмасс из-за значительных энергетических затрат или использование дорогих химических продуктов.

Также распространен способ переработки отходов ПЭТ – получение сравнительно недорогой ненасыщенной полиэфирной смолы. Для этого отходы ПЭТ, с содержанием влаги 0,1-10 %, подвергаются гликолизу и поликонденсации с добавлением α -; β - ненасыщенных многоосновных кислот или их ангидридов с целью получения ненасыщенной полиэфирной смолы [7].

Сольволиз ПЭТ-отходов

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). 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 нейтральным гидролизом до терефталевой кислоты и этиленгликоля, снова идущих на синтез ПЭТ. Процесс является непре-

					<i>ВКР.181132.18.03.01.ПЗ</i>	Лист
						18
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

рывным. 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 дорогих химических продуктов. Продукты деструкции ПЭТ из устаревших отходов широко используют снова в синтезе ПЭТ, для получения пластификаторов, лаков, материалов для покрытий.

Метанолиз ПЭТ-отходов

ПЭТ-отходы обрабатывают (под давлением при 200 °С) метанолом в присутствии катализатора. Происходит деполимеризация с получением диметилтерефталата (ДМТ) и этиленгликоля (ЭГ). ДМТ очищается дистилляцией для получения высококачественного полуфабриката, который вновь может использоваться для синтеза ПЭТ. После очистки, этиленгликоль может использоваться по разным направлениям, включая изготовление антифриза и производство ПЭТ.

Фирма "Du Pont" разработала технологию метанолиза отходов полиэтилентерефталата при температуре 400 °С и давлении 28 кг/см² до диметилфталата и этиленгликоля для дальнейшего синтеза ПЭТ. По этой технологии, названной Retretec, на установке мощностью 30 тыс. т. в год могут быть переработаны отходы металлизированной пленки.

Фирма "Hoechst" разработала технологию метанолиза ПЭТ – отходов до превращения его в новый оригинальный химический продукт, добавление которого в первичный ПЭТ улучшает процесс раздува при изготовлении бутылей под напитки. При этом значительно снижается их стоимость. Например, выпускают приправу для салатов в бутылочках, изготовленных из ПЭТ с добавкой около 25 % химически восстановленного ПЭТ.

					<i>ВКР.181132.18.03.01.ПЗ</i>	Лист
						19
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

Преимущества метанолиза:

- 1) Легкость очистки ДМФ;
- 2) Качество вторичного ДМФ сопоставимо с качеством ДМФ, полученного из вторичного сырья;
- 3) Метанол и этиленгликоль легко регенерируются и могут быть использованы в рецикле.

Недостатки метанолиза:

- 1) Метанолиз дороже чем другие процессы, но за счет использования сырья большей засоренности это компенсирует высокую стоимость переработки;
- 2) Продуктами процесса является не только ДМТ, но и примеси гликолей, спиртов и производных фталевой кислоты, разделение которых удорожает процесс;
- 3) Наличие воды в ПЭТ-отходах отравляет катализаторы, образуются азеотропы;
- 4) Стоимость ДМТ, полученного метанолизом ПЭТ-отходов в два раза больше, чем исходного ДМТ.

Гидролиз ПЭТ-отходов

При гидролизе ПЭТ деполимеризуется до ТФК и ЭГ. Данный метод не используют для получения пищевых сортов ПЭТ, так как возникают большие затраты на очистку вторичной ТФК. В технологиях гидролиза применяют высокие температуры и давления, также может присутствовать катализатор – минеральные кислоты (кислотный гидролиз) или основания NaOH (щелочной гидролиз). Полученная сырая ТФК обрабатывается активированным углем для удаления окрашивающих примесей и перекристаллизуется из растворителя (уксусной кислоты). Гидролизом можно обрабатывать ПЭТ, содержащий до 40 % загрязнений.

Недостатки методов гидролиза:

- 1) Высокая стоимость процесса, связанная с трудностями очистки ТФК до нужного качества (необходима многократная перекристаллизация);
- 2) Серная кислота, используемая для выделения ТФК из динатриевой

					<i>ВКР.181132.18.03.01.ПЗ</i>	Лист
						20
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

соли или в качестве катализатора, растворяет также бумагу и некоторые пигменты, при этом образуются побочные продукты, которые трудно отделить;

3) Длительность процесса;

4) Образование большого количества сульфата натрия, для которого не-обходим рынок сбыта.

Радиационная обработка (радиодеструкция)

Радиодеструкция заключается в разрушении химических связей макромолекул полимеров с помощью нейтронов, гамма-излучения, бета-частиц. В результате воздействия в полимерах образуются свободные радикалы (олигомерные, низкомолекулярные), которые вступают в реакции, разрушающие полимер (фото-, термоокислительная деструкция). Затем макромолекулы распадаются на низкомолекулярные продукты, которые без вреда задействованы в биоциклических процессах [8].

1.3.3 Термический рециклинг ПЭТ-отходов

Сжигание

Распространенным способом утилизации ПЭТ-отходов является сжигание. ПЭТ в потоке полимерных отходов является одним из наиболее дорогостоящих, поэтому его сжигание представляется наименее целесообразным. Однако сортировка загрязненного ПЭТ является дорогостоящей процедурой и тогда сжигание сильно загрязненного ПЭТ может быть подходящим способом утилизации.

Теплотворная способность 2 тонн пластиковых отходов упаковки эквивалентна теплотворной способности 1 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 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.

					<i>ВКР.181132.18.03.01.ПЗ</i>	Лист
						21
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

Пластмассы содержат различные стабилизирующие добавки, пигменты и другие, в состав которых входят соли тяжелых металлов. При температуре свыше 700 °С они переходят в газообразное состояние и их последующее улавливание чрезвычайно затруднено. Использование для этих целей воды приводит к её 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 большое количество кислорода [9].

Пиролиз

Пиролиз – термическое разложение органических веществ в отсутствие кислорода с целью получения полезных продуктов. При низких температурах (до 600 °С) образуются в основном жидкие продукты, а выше 600 °С — газообразные. В твердом остатке образуются в основном технический углерод и соединения металлов. Пиролиз позволяет переработать смешанные и загрязненные отходы. Несмотря на ряд недостатков, пиролиз, в отличие от сжигания, дает возможность получать промышленные продукты, используемые для дальнейшей переработки. По данным британских ученых, пиролиз ПЭТ при 550 °С дает следующие продукты: масло (23,1 %), воск (15,9 %), кокс (12,8 %), Н₂ (0,06 %), этилен (1,27 %), пропилен (1,6 %), СО₂ (24,3 %) и СО (21,5 %). Эти продукты используются как топливо или как сырье для нефтехимической промышленности [9].

1.4 Инновации в технологии переработки ПЭТ-отходов

1.4.1 Процесс «VolCat»

Процесс VolCat – каталитический химический процесс, при котором разлагаются синтетические полиэфирные пластмассы до состояния порошка – готового сырья для производства ПЭТ-упаковки. Этот процесс невозможен без катализатора (volatile catalyst — «летучий катализатор»).

Пластиковые бутылки, контейнеры и ткани на основе ПЭТ собирают, измельчают и объединяют с катализатором под давлением в печи, при температуре выше 200 °С. При нагревании под небольшим давлением катализатор рас-

					<i>ВКР.181132.18.03.01.ПЗ</i>	Лист
						22
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

щепляет измельченный пластик и при этом одновременно устраняет все загрязнения – остатки пищи, клей, грязь, красители и пигменты. Когда процесс завершается, полученный мономер фильтруют и охлаждают, а катализатор отгоняют для повторного использования путём дистилляции, используя тепло произошедшей химической реакции — процесс получается энергоэффективным.

Готовый продукт в виде порошка можно использовать в производстве пластмасс, а катализатор возвращается в новый цикл переработки.

Важное преимущество технологии VolCat – ее универсальность. По этой технологии возможна переработка цветных и прозрачных материалов, грязных и чистых контейнеров. Это значит, что людям больше не придется сортировать пластиковую упаковку и ополаскивать ее. Все отходы ПЭТ можно будет сразу выбрасывать в контейнер для пластикового мусора.

С внедрением новой технологии весь процесс расщепления пластика будет занимать несколько часов, в то время как сейчас он растягивается на несколько дней, также данному процессу потребуется меньше электроэнергии. На выходе реакции будет получаться конкурентоспособное сырье, а не материал с весьма ограниченной областью применения [10].

1.4.2 Технология «IN–MELT»

Сырьем для производства ПЭТ-гранул по технологии IN-MELT является собранная в бывшем употреблении пищевая ПЭТ-тара. В процесс производства первичного гранулята из ТФК и МЭГ добавляется очищенная и порубленная пищевая в бывшем употреблении ПЭТ-тара (флекса), в результате производится гранула с содержанием вторичного сырья, отвечающая требованиям food-grade качества. Гранулят с содержанием вторичного сырья может быть использован для производства упаковки на стандартных линиях без дооснащения. Данная технология относится к методу механической переработки. Итак, технология «IN–MELT» – это ввод вторичного ПЭТ после финишного реактора, в итоге получается смешанный гранулят в гораздо большем объеме.

Преимущества технологии:

1. данную технологию рационально использовать при малой производи-

					<i>ВКР.181132.18.03.01.ПЗ</i>	Лист
						23
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

тельности;

2. вторичный ПЭТ несильно влияет на качество продукта;
3. снижает удельные выбросы парниковых газов на тонну готовой продукции;
4. демонстрирует принцип экономики замкнутого цикла

На рисунке 4 представлен проект компании по производству полимеров – запуск производства «зеленой» ПЭТ-гранулы с содержанием вторичного сырья на предприятии.

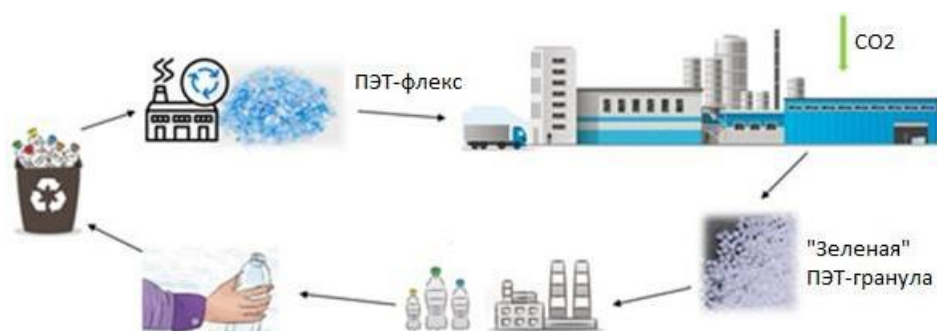


Рисунок 4 – Проект компании по производству полимеров – запуск производства «зеленой» ПЭТ-гранулы

1.4.3 Технология «bottle-to-bottle»

VACUREMA PRIME

«VACUREMA PRIME» – технология, позволяющая превращать дробленые и отмытые ПЭТ – отходы в гранулят, отфильтрованный на стадии расплава, является механохимическим методом. Полученный гранулят по свойствам будет практически идентичен новому материалу. При данной системе можно изготавливать упаковку, пищевые контейнеры и бутылки на 100 % из переработанного ПЭТ. Основными компонентами технологии являются вакуумные сушилки-кристаллизаторы и комбинация реактора и экструдера под вакуумом.

На рисунке 5 представлен общий вид установки «VACUREMA PRIME».

					<i>ВКР.181132.18.03.01.ПЗ</i>	Лист
						24
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

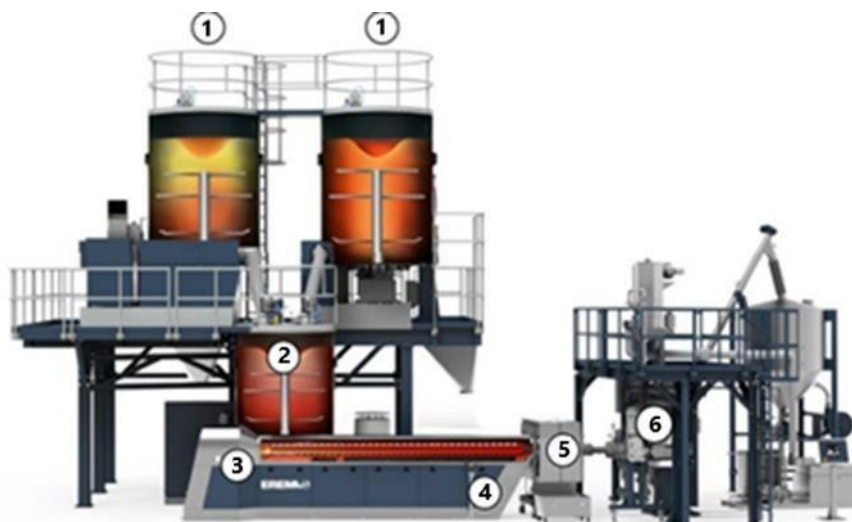


Рисунок 5 – Общий вид установки «VACUREMA PRIME»:

1 – сушилка – кристаллизатор, 2 – вакуумный реактор, 3 – экструдер, 4 – шнек,
5 – фильтр, 6 – секция грануляции – кристаллизации

Принцип работы заключается в следующем: две параллельные вакуумные сушилки – кристаллизаторы заполняются аморфными, промытыми ПЭТ хлопьями. В данных аппаратах происходит удаление влаги, высокоэффективного порционного очищения от примесей для предотвращения гидролитического и окислительного разложения расплава в экструдере. Сушилки – кристаллизаторы расположены непосредственно перед вакуумным реактором непрерывного действия.

Далее сырье поступает в вакуумный реактор со встроенной продувкой азотом. Азот необходим для снижения содержания кислорода, что является причиной необратимого пожелтения ПЭТ-хлопьев. Также в реакторе происходит увеличение вязкости ПЭТ-хлопьев путем твердофазной поликонденсации до необходимого значения.

При очень низкой остаточной влажности менее 0,05 % чистый, идеально подготовленный материал достигает зоны загрузки экструдера. Эта передача материала происходит в высоком вакууме, поэтому дополнительные отверстия для дегазации на экструдере не нужны. Данная технология позволяет значительно сократить длину и энергопотребление экструдера, улучшить цвет. В экструдере происходит процесс плавления. После экструдера материал поступает

					<i>ВКР.181132.18.03.01.ПЗ</i>	Лист
						25
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

на эффективную сверхтонкую фильтрацию, при помощи автоматического фильтра удаляются мелкие частицы алюминия, стали и другие частиц из расплава. Система фильтров оснащена запатентованной автоматической системой самоочистки.

Далее сырье поступает в секцию подводной грануляции – кристаллизации, где расплав ПЭТ нарезают под горячей водой и направляют в центрифугу. В центрифуге гранулы кристаллизуются путем скрытой тепловой кристаллизации изнутри наружу без подачи внешней энергии.

Преимущества технологии [11]:

1. Быстрота и гибкость

Конечное значение вязкости еще до грануляции, поэтому возможна быстрая смена продукта с одного определенного качества гранул на другое.

2. Эталон по энергосбережению

0,35 кВтч/кг удельного расхода энергии (включая все вспомогательные устройства, например, чиллер для устройства по подготовке охлаждающей воды, при 1000 кг/час).

3. Высокие показатели цвета, благодаря вакууму и азотной промывке

4. Высокая чистота преформ

5. Высочайшая эффективность использования ресурсов – технология экономит энергию, воду и площадь

6. Простота в использовании – высокая степень автоматизации

8. Снижает выбросы CO₂

В данном разделе рассмотрены все технологии переработки ПЭТ-отходов, а также последние инновации в данной области. В технологической части представлена возможность внедрения инновационной технологии «IN-MELT» для производства первичного полиэтилентерефталата с производительностью 100 тыс./год с включением «зеленой гранулы» в размере 10 % от производственной мощности, дана оценка от ее внедрения.

					<i>ВКР.181132.18.03.01.ПЗ</i>	Лист
						26
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

2 ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

2.1 Описание технологической схемы

На рисунке 6 представлен узел первичного производства ПЭТ с использованием технологии «IN-MELT», позволяющей включить вторичное сырье в первичное производство.

В первичном производстве на стадии предварительной поликонденсации происходит удаление избытка этиленгликоля до 97 % и образование полиэфира со степенью поликонденсации $n = 30-33$. На завершающей стадии поликонденсации происходит рост длины цепи макромолекул полиэфира до степени поликонденсации $n = 80-100$. Рассмотрим технологическую схему.

Кипы ПЭТ-бутылок поступают в кипоразбиватель 1 для разделения кипа на отдельные бутылки, которые равномерно подаются в моющий отделитель этикетки 2. Сырье (ПЭТ-тара) проходя через загрузочный бункер при помощи шнекового механизма поступает в зону отделения этикетки. Механическое удаление этикеток происходит в результате вращения ротора подвижными ножами и клыками, помимо этого происходит очистка от песка, металла, камня, стекла, далее сырье непрерывно поставляется в зону выгрузки аппарата. В верхнюю часть аппарата через орошающее устройство подается вода для отмывки и отвода загрязнений. Весь шлам вместе с водой поступает в лотки для слива, а затем выводится на очистку. Этикетки и другие легкие загрязнения, которые не были удалены водой отделяются через вытяжную систему. Поток воздуха проходит через гофрированный фильтр 3 и компрессором 4 выводится в атмосферу.

Пройдя отделитель этикеток сырье поступает в роторную дробилку 5, где происходит измельчение путем многократных ударов тары о неподвижные ножи, которые расположены в корпусе дробилки и подвижные ножи, находящиеся на роторе.

					<i>ВКР.181132.18.03.01.ПЗ</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>	<i>Карпенко В.А.</i>				<i>Новые технологии переработки ПЭТ-отходов</i>	<i>Лит</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Пров.</i>	<i>Гужель Ю.А.</i>					<i>у</i>	<i>27</i>	<i>57</i>
<i>Н. контр.</i>	<i>Родина Т.А.</i>					<i>АмГУ ИФФ</i>		
<i>Зав. каф</i>	<i>Гужель Ю.А.</i>					<i>Гр. 818-об</i>		

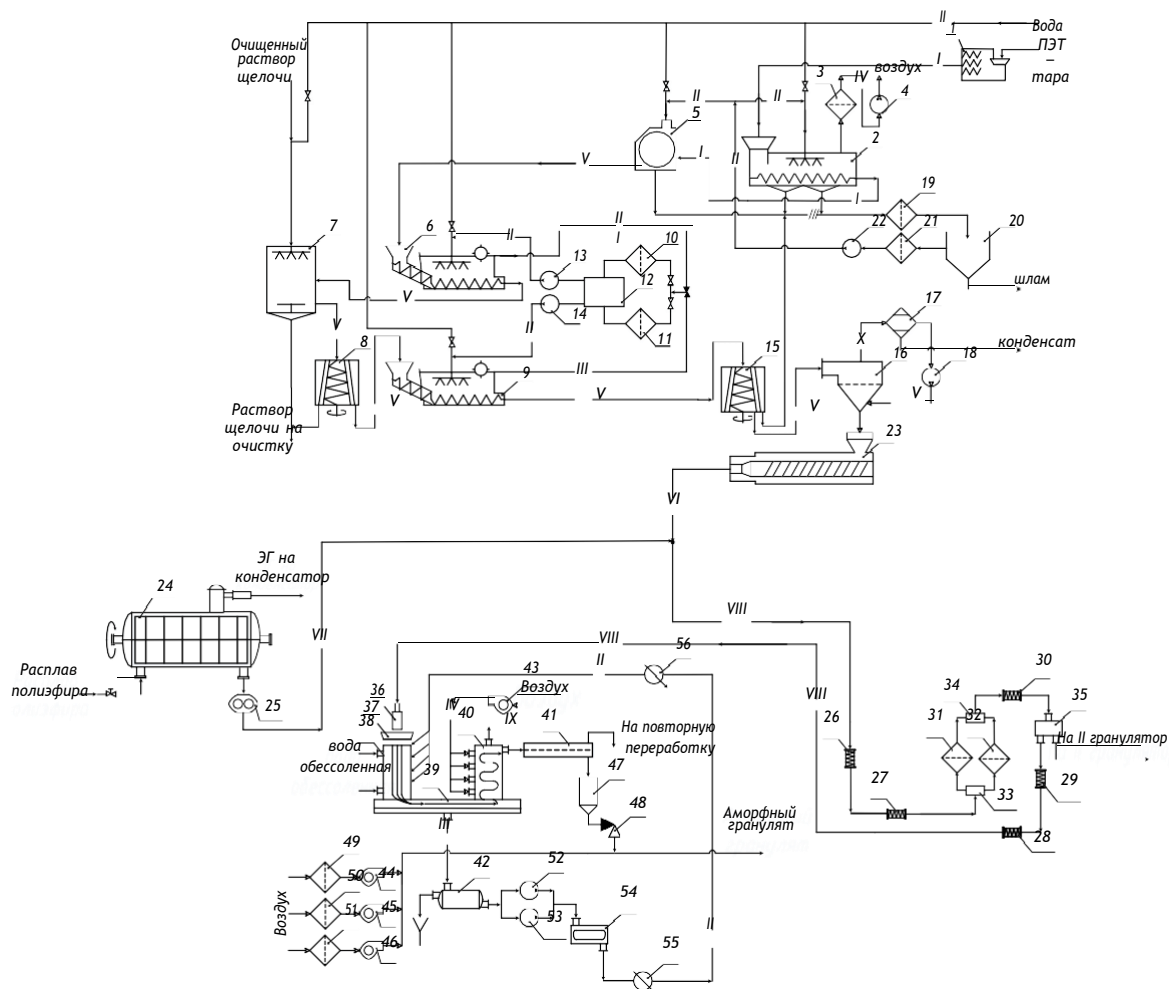


Рисунок 6 – Технологическая с»хема производства ПЭТ с внедрением техно-
логии «IN-MELT»

1– кипоразбиватель; 2 – отделитель этикетки, 3, 10, 11, 19, 21 – фильтр; 4, 18 – компрессор; 5 – роторная дробилка; 6, 9 – флотационная мойка; 7 – подогреваемая мойка, 8, 15 – центрифуга; 12 – буферная емкость; 13, 14, 22 – насос; 16 – сушилка; 17 – осушитель воздуха; 20 – отстойник; 23 – экструдер; 24 – поликонденсатор; 25 – шестеренчатый насос; 26, 27, 28, 29, 30 – статические смесители; 31, 32, 49, 50, 51 – фильтры; 33, 34, 35 – тройник; 36 – литьевая головка; 37 – фильер; 38 – рубильное устройство; 39 – отделитель воды; 40 – воздушная сушилка; 41 – классификатор; 42 – сборник; 43, 44, 45, 46 – воздуходувка; 47 – промежуточный бункер; 48 – поворотный клапан; 52, 53 – насос; 54 – фильтровальная машина; 55, 56 – теплообменник; I – ПЭТ-тара; II – вода; III – загрязненная вода; IV – сухой воздух; V – ПЭТ-флекс; VI – расплав вторичного ПЭТ; VII – расплав первичного ПЭТ; VIII – расплав первичного и вторичного ПЭТ; IX – гранулят; X – воздух.

При достижении размера измельченной фракции до величины ячейки сита, фракция проходит в выходной раструб, в ином случае продолжается процесс измельчения. Для увеличения срока службы ножей дробилки и снижения рабочего шума предусмотрен процесс орошения водой. Чистая вода поступает в верхнюю часть аппарата, а загрязненная поступает в лотки для слива и оттуда направляется на очистку.

Вода циркулирует в замкнутом контуре. Система сетчатых фильтров 10, 11, 19, 21 с большим размером ячеек предусмотрена для удаления крупных частиц и этикетки из воды, отводимой с моющего отделителя этикетки и дробилки. Затем вода поступает в отстойник 20, где происходит очистка от уносимого шлама под действие силы тяжести, далее шлам удаляется из отстойников при помощи шнеков. Осветленная вода, пройдя через пористый фильтр 21, заполненный керамзитом, обеззараживается и насосом 22 подается обратно к отделителю этикетки и дробилке.

ПЭТ–флекс на выходе из дробилки, поступает на флотационную мойку 6, которая предназначена для отделения загрязнений плотностью ниже плотности воды. ПЭТ–хлопья поступают в ванну при помощи загрузочного шнека, распыляющего их под поверхностью воды. Известно, что плотность ПЭТ выше плотности воды, поэтому ПЭТ тонет и транспортируется шнеком через ванну в зону выгрузки. Остатки колец, пробок, этикеток (полиэтиленовых и полипропиленовых), других частиц всплывают на поверхность и уносятся потоком воды через переток ванны на фильтрацию.

Система оборотной воды предусмотрена для флотационных моек 6 и 9. Система включает в себя два сетчатых фильтра 10 и 11, которые работают попеременно. После прохождения фильтра твердые частицы остаются на поверхности фильтра, а отфильтрованная вода поступает в буферную емкость 12. После буферной емкости насосами 13 и 14 поступает обратно в ванны флотационных моек. В случае пуска линии после простоя и для компенсации потерь из центрального водоснабжения предусмотрен подвод свежей воды.

					<i>ВКР.181132.18.03.01.ПЗ</i>	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		29

После прохождения флотационной мойки флекс поступает в подогреваемую мойку 7. Подогреваемая мойка – это специальный аппарат для горячей отмывки от сложных загрязнителей и клея при помощи ворошителя особой конструкции. Чистый раствор щелочи поступает в верхнюю часть аппарата, а загрязненный раствор выводится с нижней части и поступает на дальнейшую очистку.

После подогреваемой мойки 7 флекс поступает в центробежную центрифугу непрерывного действия 8 для промежуточной сушки на данном этапе отмывки. Внутри центрифуги расположен перфорированный барабан с отверстиями, при вращении барабана и воздействия центробежных сил, отделяется моющий раствор от измельченной тары, которая ссыпается вниз под воздействием гравитационных сил. Отделяемый в процессе раствор выводится из аппарата на дальнейшую очистку.

Флекс после промежуточной сушки повторно обрабатывается на флотационной мойке 9 и завершающей сушки в центрифуге 15. Принцип работы аппаратов 9 и 15 аналогично рассмотренному ранее принципу. Флотационная мойка 9 включена в систему оборотной воды, а жидкость из центрифуги 15 направляется на очистку в общую систему сбора загрязненной воды. Очищенный флекс необходимо еще раз предварительно высушить в сушилке 15 до значения остаточной влажности не более 0,3 % по массе перед подачей в экструдер.

Далее флекс подается на циклон сушилки, где происходит разделение под действием сил (центробежных и гравитационных). В верхней части аппарата расположен пылеуловитель, куда поступает воздух для очистки от захваченных частиц пыли, затем воздух выводится из пылеуловителя, проходит осушитель воздуха 17 и компрессор 18, а затем снова направляется в циклон. Высушенное сырье ссыпается в нижнюю часть циклона и поступает в дозирующее устройство экструдера 23.

Сырье, поступившее в экструдер, захватывается шнеком и направляется из зоны дозирования в зону сжатия разогреваясь до температуры 280 °С за счет обогрева цилиндра экструдера ТЭНами и сил внутреннего трения. После про-

					<i>ВКР.181132.18.03.01.ПЗ</i>	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		30

хождения зоны сжатия расплав ПЭТ, перемещаемый шнеком, направляется в зону дозирования и выводится из экструдера для смешения с первичным сырьем ПЭТ. Из поликонденсатора 24, находящегося в узле поликонденсации полимер шестеренчатым насосом 25 смешивается с полимером вторично переработанного ПЭТ, поступающего из экструдера 23 для образования общего расплава. Далее рассмотрим узел фильтрации и гранулирования первичного производства ПЭТ с внедрением вторично переработанного сырья.

Расплав смешанного полиэфира поступает в статические смесители 26, 27, 28, 29, 30 для поддержания однородности потока и минимального сокращения времени прибытия полиэфира у стенок трубопровода, затем фильтруется на сдвоенных фильтрах 31 и 32, обогреваемые парами динила (один из фильтров предназначен для резерва, другой для работы). Смена направления потока расплава на другой фильтр осуществляется при помощи тройников 33, 34. Смена подачи потока на резервный фильтр осуществляется при перепаде давления на входе и выходе работающего фильтра 85 кг/см^2 , отключенный фильтр демонтируют и отправляют на регенерацию.

Узел гранулирования состоит из двух грануляторов. В состав данного узла входит: литьевая головка 36, фильер 37, рубильное устройство 38 с включенным устройством водяного охлаждения, отделитель воды 39 с воздушной сушилкой 40 и классификатор 41.

Расплав подается в обогреваемую паром динила литьевую головку, к которой привернутыми болтами фильера с 30 или 60 отверстиями диаметром 8 мм. Скорость продавливания расплава через отверстия равна 300 м/мин. Из отверстий фильера образуются жилки полиэфира, которые поступают на направляющую плиту, охлаждаемую проточной водой и затем попадает в направляющие бороздки. Далее жилки вытягиваются специальными подающими роликами и поступают в секцию, где происходит рубка. Данная секция состоит из подвижного режущего диска и ножей. Редуктор связывает диск и подающий ролик, что способствует нарезанию жилок на гранулы длиной 3 мм.

					<i>ВКР.181132.18.03.01.ПЗ</i>	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		31

Нарезанный гранулят с водой отделяется от воды, стекающей в сборник 42 и переносится в сушилку оставшимся потоком с температурой $t = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Завершающая сушка гранулята происходит в сушилке 40 потоком воздуха, подаваемой воздуходувкой 43.

Гранулят, прошедший завершающий этап сушки, с $t = 30\text{--}40\text{ }^{\circ}\text{C}$ подается в классификатор 41 для отделения гранул необходимого размера от крупных частиц, сбрасываемых в дальнейшем в отходы. Отобранный гранулят поступает в промежуточный бункер 47 через поворотный клапан 48 пневмотранспортом при помощи воздуходувок 44, 45, 46 для хранения в силосах отдела твердофазной поликонденсации. Воздух для пневмотранспорта предварительно очищается от пыли на фильтрах 49, 50, 51.

Вода из сборника 42 при помощи насосов 52, 53 подается на фильтр 54 со сходящим полотном (фильтровальная машина), предназначенный для фильтрации воды от мелких частиц полиэфира. Затем вода поступает в теплообменник 55 для охлаждения оборотной водой и для дополнительного охлаждения заохлажденной водой перед подачей в гранулятор в теплообменнике 56.

Далее аморфный гранулят поступает на узел кристаллизации и твердофазной поликонденсации, где образуется готовый продукт – высоковязкий гранулят [12].

2.2 Технологический расчет экструдера

В данном разделе произведен расчет экструдера, согласно методике [13], предназначенного для получения расплава из ПЭТ-хлопьев и дальнейшего его смешения с полимером первичного производства. Данное оборудование является ключевым так как для внедрения вторичного ПЭТ в первичное производство необходим расплав вторичного полимера, который можно получить при помощи экструдера.

Объемная производительность экструдера по полиэтилентерефталату ($\text{мм}^3/\text{с}$) рассчитывается по следующей формуле:

$$Q = \frac{G_{\text{э}}}{3600 \cdot \rho_p} \cdot 10^9; \quad (1)$$

					<i>ВКР.181132.18.03.01.ПЗ</i>	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		32

где $G_{\text{э}}$ – расчетная производительность экструдера, кг/ч;

ρ_p – плотность полиэтилентерефталата;

$$Q = \frac{1200}{3600 \cdot 1330} \cdot 10^9 = 250600 \frac{\text{мм}^3}{\text{с}};$$

Далее производим расчет ориентировочного диаметра шнека экструдера.

$$D = (1,47 \cdot Q)^{\frac{2}{5}}; \quad (2)$$

$$D = (1,47 \cdot 250600)^{\frac{2}{5}} = 168 \text{ мм};$$

Полученное значение диаметра шнека округляют до ближайшего большего числа из стандартного ряда диаметров шнеков для конкретного вида полимерного материала.

Принимаем $D = 180 \text{ мм}$.

Принимаем отношение $\frac{L}{D} = 40$, следовательно длина шнека равна 7200

мм.

На практике шаг винтовой нарезки t для машин по переработке пластмасс рекомендуется принимать постоянным по длине шнека.

$$t = (0,8 \dots 1,2) \cdot D; \quad (3)$$

Обычно шаг принимается равным диаметру шнека, т. е. $t = D$, что соответствует углу подъема винтового канала $17^\circ 42'$. В этом случае обеспечивается не только достаточно хорошее питание машины материалом, но и существенно упрощается технология изготовления шнека.

Принимаем $t = D = 180 \text{ мм}$;

Далее определяем глубину винтового канала шнека h для переработки пластических масс по следующим формулам:

– в зоне питания (загрузки):

$$h_1 = (0,12 \dots 0,16) \cdot D; \quad (4)$$

$$h_1 = 0,14 \cdot D = 25,2 \text{ мм};$$

– в зоне дозирования:

					<i>ВКР.181132.18.03.01.ПЗ</i>	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		33

$$h_3 = 0,5 \cdot \left[D - \sqrt{D^2 - \frac{4 \cdot h_1}{i} \cdot (D - h_1)} \right]; \quad (5)$$

где i – степень сжатия материала, согласно [13] принимаем равной 4,2;

$$h_3 = 0,5 \cdot \left[180 - \sqrt{180^2 - \frac{4 \cdot 25,2}{4,2} \cdot (180 - 25,2)} \right] = 5,317 \text{ мм};$$

– в зоне пластикации (сжатия):

$$h_2 = h_1 - \frac{h_1 - h_3}{L} \cdot L_0; \quad (6)$$

где L – длина шнека, см;

L_0 – длина шнека до зоны сжатия, см;

$$L_0 = L - L_H; \quad (7)$$

где L_H – длина напорной части шнека, мм;

Длина напорной части шнека определяется по следующей формуле:

$$L_H = (0,4 \dots 0,6) \cdot L; \quad (8)$$

$$L_H = 0,5 \cdot 7200 = 3600 \text{ мм}$$

$$L_0 = 7200 - 3600 = 3600 \text{ мм};$$

$$h_2 = 25,2 - \frac{25,2 - 5,317}{630} \cdot 315 = 15,259 \text{ мм};$$

Ширину гребня витка шнека рекомендуется принимать равной:

$$e = (0,06 \dots 0,1) \cdot D; \quad (9)$$

$$e = 0,08 \cdot 180 = 14,4 \text{ мм};$$

Радиальный зазор между внутренней поверхностью материального цилиндра и наружной поверхностью витка шнека рекомендуется принимать равным:

$$\delta = (0,002 \dots 0,005) \cdot D; \quad (10)$$

$$\delta = 0,004 \cdot 180 = 0,72 \text{ мм};$$

Частота вращения шнека существенно влияет на производительность машин (шнековых). Ее рост происходит до определенного значения частоты вращения шнека (критического), выше которого начинается неустойчивое

					<i>ВКР.181132.18.03.01.ПЗ</i>	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		34

движение материала (частицы материала прекращают двигаться в осевом направлении, а лишь вращаются вместе со шнеком). Это приводит к уменьшению производительности, увеличению потребляемой мощности и повышенному износу рабочих частей машины.

Критическая частота вращения шнека в зоне загрузки шнековой машины может быть определена по следующему соотношению (c^{-1}):

$$n_{KP} = \frac{42,2}{60\sqrt{D}}; \quad (11)$$

$$n_{KP} = \frac{42,2}{60\sqrt{0,18}} = 1,658 c^{-1};$$

Рабочая частота вращения шнека равна:

$$n_p = (0,2...0,7)n_{KP}; \quad (12)$$

$$n_p = 0,5 \cdot 1,658 = 0,829 c^{-1};$$

Далее рассчитываем фактическую производительность экструдера по определенным выше параметрам. Принимаем шнек с переменной глубиной резки.

Объемная производительность экструдера выражается следующей формулой:

$$Q = \frac{A \cdot K \cdot n}{K + B + C}; \quad (13)$$

где A – коэффициент прямого потока расплава, $см^3$;

B – коэффициент обратного потока расплава, $см^3$;

C – коэффициент потока утечек, $см^3$;

K – коэффициент сопротивления головки, $см^3$.

Определяем значения расчетных коэффициентов:

$$A = \frac{\pi^3 \cdot (t - \lambda \cdot e) \cdot \sigma}{a + t^2 \cdot b}; \quad (14)$$

$$B = \frac{\pi \cdot t \cdot (t - \lambda \cdot e)}{12 \cdot L_H \cdot (a + t^2 \cdot b)}; \quad (15)$$

$$C = \frac{\pi \cdot D \cdot \delta^3 \cdot t^2}{10 \cdot L_H \cdot \sqrt{\pi^2 \cdot D^2 + t^2}}; \quad (16)$$

					<i>ВКР.181132.18.03.01.ПЗ</i>	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		35

где σ – коэффициент геометрических параметров шнека;

a – коэффициент глубины нарезки шнека, $1/\text{см}^2$;

b – коэффициент нарезки шнека с учетом диаметра сердечника, $1/\text{см}^4$;

λ – число заходов нарезки, принимаем равным 1;

$$\sigma = 1 - \frac{6,9 \cdot D}{2 \cdot (h_2 - h_3)} \cdot \lg \left(\frac{h_2}{h_3} \right) + \frac{D^2}{2 \cdot h_2 \cdot h_3}; \quad (17)$$

$$\sigma = 1 - \frac{6,9 \cdot 18}{2 \cdot (1,523 - 0,532)} \cdot \lg \left(\frac{1,523}{0,532} \right) + \frac{18^2}{2 \cdot 1,523 \cdot 0,532} = 172,08;$$

$$a = \frac{\pi^2}{h_2 \cdot h_3} \cdot \left(\frac{D \cdot (h_2 - h_3)}{2 \cdot h_2 \cdot h_3} - 1 \right); \quad (18)$$

$$a = \frac{\pi^2}{1,523 \cdot 0,532} \cdot \left(\frac{18 \cdot (1,523 - 0,532)}{2 \cdot 1,523 \cdot 0,532} - 1 \right) = 265,5 \frac{1}{\text{см}^2};$$

$$b = \frac{2,3}{(h_2 - h_3) \cdot D^3} \cdot \lg \left(\frac{h_2 \cdot (D + d_2)}{h_3 \cdot (D + d_1)} \right) + \frac{2 \cdot h_2 \cdot h_3 + (h_2 + h_3) \cdot D}{2 \cdot D^2 \cdot h_2 \cdot h_3}; \quad (19)$$

где d_1 – диаметр сердечника шнека под загрузочной воронкой, см;

d_1 – диаметр сердечника шнека в зоне дозирования, см.

$$d_1 = D - 2 \cdot h_1; \quad (20)$$

$$d_1 = 18 - 2 \cdot 2,52 = 12,96 \text{ см};$$

$$d_3 = D - 2 \cdot h_3; \quad (21)$$

$$d_3 = 18 - 2 \cdot 0,532 = 16,94 \text{ см};$$

$$b = \frac{2,3}{(1,523 - 0,532) \cdot 18^3} \cdot \lg \left(\frac{1,523 \cdot (18 + 16,94)}{0,532 \cdot (18 + 12,96)} \right) + \frac{2 \cdot 1,523 \cdot 0,532 + (1,523 + 0,532) \cdot 18}{2 \cdot 18^2 \cdot 1,523^2 \cdot 0,532^2} = 0,091 \frac{1}{\text{см}^4};$$

$$A = \frac{\pi^3 \cdot (18 - 1 \cdot 1,44) \cdot 172,08}{265,5 + 18^2 \cdot 0,091} = 299,645 \text{ см}^3;$$

$$B = \frac{\pi \cdot 18 \cdot (18 - 1 \cdot 1,44)}{12 \cdot 36 \cdot (265,5 + 18^2 \cdot 0,091)} = 8,075 \cdot 10^{-4} \text{ см}^3;$$

$$C = \frac{\pi \cdot 18 \cdot 0,072^3 \cdot 18^2}{10 \cdot 36 \cdot \sqrt{\pi^2 \cdot 18^2 + 18^2}} = 2,223 \cdot 10^{-5} \text{ см}^3;$$

Коэффициент сопротивления головки определяется по следующей формуле:

$$K = \frac{\pi \cdot D^4}{128 \cdot L}; \quad (23)$$

$$K = \frac{\pi \cdot 18^4}{128 \cdot 720} = 3,578;$$

$$Q = \frac{299,645 \cdot 3,578 \cdot 0,829 \cdot 60}{3,578 + 8,075 \cdot 10^{-4} + 2,223 \cdot 10^{-5}} = 14900 \text{ см}^3;$$

Произведем пересчет объемной производительности экструдера в массовую часовую производительность по следующей формуле:

$$G_q = \frac{60 \cdot Q \cdot \rho_p}{10^6}; \quad (24)$$

$$G_q = \frac{60 \cdot 14900 \cdot 1330}{10^6} = 1189 \frac{\text{кг}}{\text{ч}};$$

Рассчитаем относительную погрешность между расчетной и фактической производительностями экструдера:

$$\varepsilon = \frac{G_q - G_p}{G_p} \cdot 100; \quad (25)$$

$$\varepsilon = \frac{1189 - 1200}{1200} \cdot 100 = -0,923\%;$$

В таблице 1 представлены основные расчетные характеристики экструдера.

Таблица 1 – Основные расчетные характеристики экструдера

Характеристика	Значение
1	2
Диаметр шнека D (L/D), мм	180 (40)
Шаг винтовой нарезки t, мм	180
Глубина винтового канала шнека h, мм:	
в зоне питания (загрузки)	25,2
в зоне дозирования	5,317
в зоне пластикации (сжатия)	15,259
Ширина гребня витка шнека e, мм	14,4

1	2
Радиальный зазор между внутренней поверхностью материального цилиндра и наружной поверхности витка δ , мм	0,72
Критическая частота вращения шнека в зоне загрузки $n_{кр}$, с ⁻¹	1,658
Рабочая частота вращения шнека n_p , с ⁻¹	0,829
Массовая производительность экструдера G , $\frac{кг}{ч}$	1189
Число заходов нарезки λ	1
Длина напорной части шнека L_n , мм	3600
Длина шнека до зоны сжатия L , мм	3600
Угол подъема винтового канала	17°42'
Длина шнека L , мм	7200

Фактическая производительность соответствует заданной (с учетом допустимой погрешности), следовательно, основные геометрические параметры шнека рассчитаны верно.

2.3 Расчет материального баланса

В данном разделе требуется рассчитать материальный баланс по вторичному полиэтилентерефталату, согласно методике [14]. Для начала определим усредненный состав одной ПЭТ бутылки во вторичном сырье, эти данные приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Состав одной ПЭТ бутылки

Компонент	Масса, г	Содержание, %
ПЭТ	28	80
Пробка	2,45	7
Клей, этикетка, грязь	4,55	13

В таблице 3 указаны коэффициенты, характеризующие величину потерь при вторичной переработке ПЭТ.

Таблица 3 – Коэффициенты потерь при переработке ПЭТ-отходов

Наименование	Значение
Транспортировка и хранение, $K_{ТХ}$	0,0012
Растаривание, K_p	0,001
Сушка, $K_{из}$	0,0015
Измельчение, K_c	0,002
Прочие потери, $K_{пр}$	0,0015

Находим количество ПЭТ необходимого для обеспечения годовой производительности экструдера без учета потерь при переработке:

$$G_{ПЭТ} = \frac{G_q \cdot T}{x_{ПЭТ}} \cdot 100; \quad (26)$$

где G_q – часовая массовая производительность экструдера, т/ч (см. раздел 2.2);

T – время работы производственной линии в течении года, ч. Принимаем равным 8400 часов. Остальные 360 часов принимаем за продолжительность плановых остановочных ремонтов и остановов в результате нештатных ситуаций;

$x_{ПЭТ}$ – процентное содержание ПЭТ в одной бутылке, из таблицы 1;

$$G_{ПЭТ} = \frac{1,189 \cdot 8400}{80} \cdot 100 = 12484,5 \text{ т / год};$$

Далее определяем потери возникающие при вторичной переработке ПЭТ:

– при транспортировке и хранении:

$$P_{ТХ} = G_{ПЭТ} \cdot K_{ТХ}; \quad (27)$$

где $K_{ТХ}$ – коэффициент потерь при транспортировке и хранении.

$$P_{ТХ} = 12484,5 \cdot 0,0012 = 14,98 \text{ т / год};$$

– при растаривании:

$$P_p = G_{ПЭТ} \cdot K_p; \quad (28)$$

где K_p – коэффициент потерь при растаривании.

$$P_p = 12484,5 \cdot 0,001 = 12,48 \text{ т / год};$$

– при измельчении:

$$P_{из} = G_{ПЭТ} \cdot K_{из}; \quad (29)$$

где $K_{ИЗ}$ – коэффициент потерь при измельчении.

$$P_{ИЗ} = 12484,5 \cdot 0,002 = 24,97 \text{ т / год};$$

– при сушке:

$$P_C = G_{ПЭТ} \cdot K_C; \quad (30)$$

где K_C – коэффициент потерь при сушке.

$$P_C = 12484,5 \cdot 0,0015 = 18,72 \text{ т / год};$$

– прочие потери:

$$P_{ПР} = G_{ПЭТ} \cdot K_{ПР}; \quad (31)$$

где $K_{ПР}$ – коэффициент прочих потерь.

$$P_{ПР} = 12484,5 \cdot 0,0015 = 18,72 \text{ т / год};$$

Определяем суммарные потери при вторичной переработке:

$$P_{\Sigma} = P_{ТХ} + P_P + P_{ИЗ} + P_C + P_{ПР}; \quad (32)$$

$$P_{\Sigma} = 14,98 + 12,48 + 24,97 + 18,72 + 18,72 = 89,87 \text{ т / год};$$

Рассчитываем необходимое количество вторичного сырья для обеспечения заданной производительности на выходе экструдера:

$$G_{ВТОР.ПЭТ} = G_{ПЭТ} + P_{\Sigma}; \quad (33)$$

$$G_{ВТОР.ПЭТ} = 12484,5 + 89,87 = 12574,37 \text{ т / год};$$

В таблице 4 представлен результат расчета материального баланса по вторичной переработке ПЭТ.

Таблица 4 – Материальный баланс

Приход	т/год	% по массе	Расход	т/год	% по массе
ПЭТ - сырье	12574,37	100	ПЭТ	9987,6	79,43
			Пробка	873,92	6,95
			Клей, этикетка, грязь	1622,98	12,9
			Потери при переработке	89,87	0,71
Всего	12574,37	100	Всего	12574,37	100

2.4 Выбор оборудования для подготовки вторичного сырья к переработке

Вторичная переработка пластика перед подачей в экструдер включает очистку от загрязнений, измельчение флекса в хлопья и сушка до необходимого уровня влагосодержания. По заданию известно, что производительность экструдера составляет 1200 кг/ч. На основании этого подобрано технологическое оборудование для линии вторичной переработки пластика. Было выбрано следующее технологическое оборудование:

1) Кипоразбиватель предназначен для создания непрерывного равномерного потока отдельных бутылок из прессованных тюков. Внешний вид кипоразбивателя представлен на рисунке 7.



Рисунок 7 – Внешний вид кипоразбивателя

2) Ленточный транспортер с металлодетектором предназначен для транспортирования сырья с возможностью регулировки объема загружаемого сырья. Металлодетектор позволяет обнаружить металлические включения и подать сигнал либо остановить подачу сырья в автоматическом режиме. Электрическая схема конвейера предполагает возможность как непрерывной работы, так и с перерывами установленной продолжительностью (от 1 секунды до 99 часов). Внешний вид ленточного транспортера с металл детектором представлен на рисунке 8.

					<i>ВКР.181132.18.03.01.ПЗ</i>	Лист
						41
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

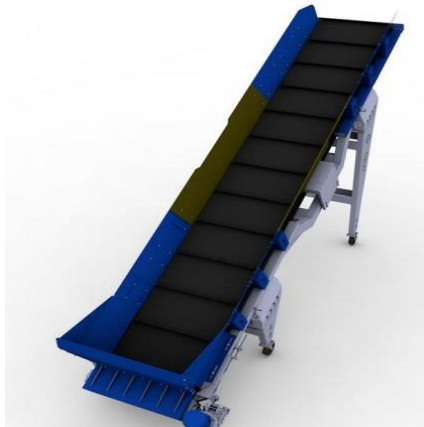


Рисунок 8 – Внешний вид ленточного транспортера с металлодетектором

3) Шнековый транспортер предназначен для перемещения сырья между единицами технологического процесса, имеют имеют различные характеристики и адаптированы под использование с конкретными агрегатами комплекса. Снабжены релейной автоматикой, благодаря чему могут быть настроены на различные режимы работы. Может быть реализована система подачи воды, что дает значительные преимущества и увеличивает срок эксплуатации оборудования. Внешний вид шнекового транспортера представлен на рисунке 9.



Рисунок 9 – Шнековый транспортер

4) Моющий отделитель предназначен для предварительной очистки сырья от крупных механических загрязнений, например, песок, камень, стекло и для удаления этикетки. Внешний вид моющего отделителя представлен на рисунке 10.



Рисунок 10 – Внешний вид моющего отделителя

5) Роторная дробилка предназначена для измельчения ПЭТ-тары во флекс. Использование воды снижает шум и увеличивает срок службы ножей. Внешний вид роторной дробилки представлен на рисунке 11.



Рисунок 11 – Внешний вид дробилки

6) Центрифуга предназначена для сушки пластика. Внешний вид центрифуги представлен на рисунке 12.

					<i>ВКР.181132.18.03.01.ПЗ</i>	Лист
						43
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		



Рисунок 12 – Внешний вид центрифуги

7) Флотационная мойка предназначена для отделения предварительно измельченного сырья, плотность которого больше плотности воды, от посторонних примесей, такие как этикетка, пробка и другие. Внешний вид флотационной мойки представлен на рисунке 13.

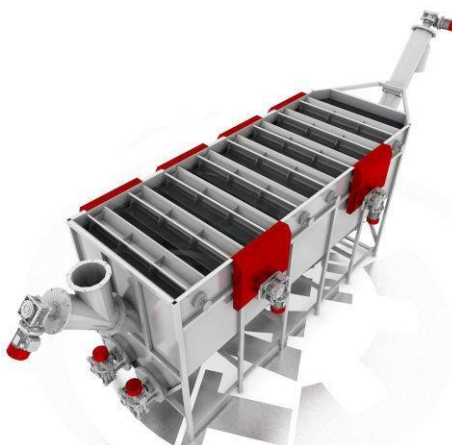


Рисунок 13 – Внешний вид флотационной мойки

8) Подогреваемая мойка предназначена для горячей отмывки флекса от клея и других сложных загрязнений. Внешний вид подогреваемой мойки представлен на рисунке 14.

					<i>ВКР.181132.18.03.01.ПЗ</i>	Лист
						44
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		



Рисунок 14 – Подогреваемая мойка

9) Сушка полимеров предназначена для досушки отмытой ПЭТ флексы перед поступлением в экструдер. Она необходима для достижения влагосодержания не более 0,3 %. Внешний вид оборудования досушки полимеров представлен на рисунке 15.



Рисунок 15 – Внешний вид оборудования досушки полимеров

10) Экструдер предназначен для получения гомогенного расплава из дроблённых полимерных материалов с их последующей фильтрацией. Принцип работы экструдера состоит в том, что в нагреваемом материальном цилиндре вращается шнек, который захватывает из бункера материал, перемещает его, уплотняет, расплавляет и гомогенизирует. Внешний вид экструдера представлен на рисунке 16.

					<i>ВКР.181132.18.03.01.ПЗ</i>	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		45

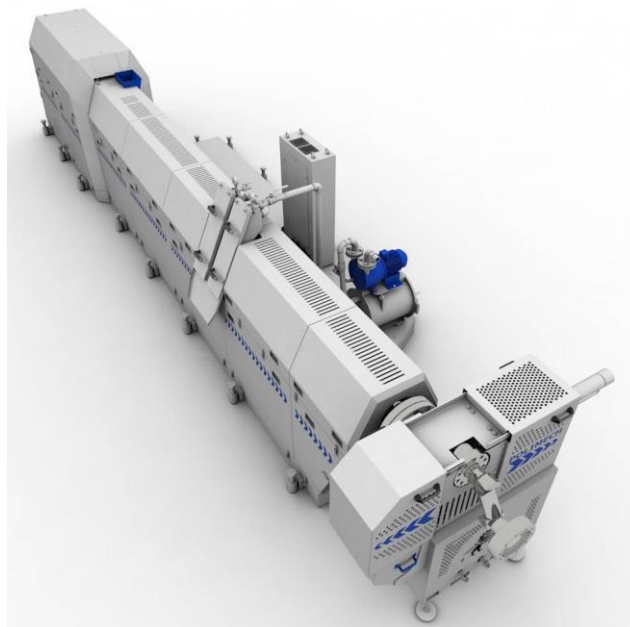


Рисунок 16 – Внешний вид экструдера

В таблице 5 представлена характеристика оборудования с необходимым для дальнейшего расчета параметрами.

Таблица 5 – Основное технологическое оборудование

Оборудование	Кол-во	Цена, тыс.руб.	Производительность, т/час	Электрическая мощность, кВт	Марка
Кипоразбиватель	1	3500	1,5	40	С-КР-ПЭТ
Ленточный транспортер с металлодетектором	1	1375	1,5	1,5	С-ЛТР-800М
Шнековый транспортер	3	950	1,5	4	С-ШТ-У-ПЭТ
Отделитель этикетки	1	6100	1,5	75	D-1000
Роторная дробилка	1	10000	2	110	SLU-2000 PET
Флотационная мойка	2	5000	1,5	12	С-ВФ-2-ПЭТ
Подогреваемая мойка	1	6400	1,5	17,35	POLIMECH
Центрифуга	2	4000	1,5	30	С-Ц-ПЭТ
Досушка полимеров	1	3000	1,5	11	СТАНКО ДП-1500
Экструдер	1	25500	1,2	200	SLE-1-180
Итого		76725		550,85	

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

ВКР.181132.18.03.01.ПЗ

Лист

46

3 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

В данном разделе ВКР требуется рассчитать основные показатели инвестиционной привлекательности проекта по внедрению вторичной переработки ПЭТ в первичное производство, согласно методике [14, 15]:

1) Чистый дисконтированный доход (NPV) – показывает какую прибыль принесет проект к концу расчетного периода с учетом временной стоимости денег;

$$NPV = \sum_{T=0}^{T_{расч}} CF_T \cdot \frac{1}{(1+i)^T}; \quad (34)$$

где $T_{расч}$ – расчетный период, год. Принимаем равным 10 годам;

CF – поток платежей в период T_i с учетом начальных инвестиций, тыс.руб.;

i – ставка дисконтирования, %. Принимаем равной текущей ключевой ставке ЦБ РФ равной 11 %.

2) Дисконтированный срок окупаемости (DPP) – показывает через какой период NPV станет положительным и проект начнет приносить прибыль.

$$DPP = \sum_{T=0}^{T_{расч}} CF_T \cdot \frac{1}{(1+i)^T} \geq K_T; \quad (35)$$

где K_T – величина капитальных вложений в год, тыс.руб.;

Для начала рассчитаем основные составляющие формул.

Поток платежей определяется по следующей формуле:

$$CF_T = D_T - K_T - I_T; \quad (36)$$

D_T – суммарный доход от реализации проекта в год, тыс.руб.;

I_T – суммарные эксплуатационные издержки в год, тыс.руб.;

Доход определяется как стоимость произведенного вторичного ПЭТ:

					<i>ВКР.181132.18.03.01.ПЗ</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Карпенко В.А.</i>			<i>Новые технологии переработки ПЭТ-отходов</i>	<i>Лит</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Пров.</i>		<i>Гужель Ю.А.</i>				<i>у</i>	<i>47</i>	<i>57</i>
<i>Н. контр.</i>		<i>Родина Т.А.</i>				<i>АмГУ ИФФ</i>		
<i>Зав. каф</i>		<i>Гужель Ю.А.</i>				<i>Гр. 818-об</i>		

$$D_T = C_0 \cdot G_{\text{Год}}; \quad (37)$$

где C_0 – стоимость продажи одной тонны ПЭТ гранулята, равна 55 тыс. руб./т;

G_q – массовая производительность экструдера линии вторичной переработки (из раздела 2.2), т/год;

$$D_T = 55 \cdot 9987,6 = 549318 \text{ тыс. руб.};$$

Капитальные вложения определяются по следующей формуле:

$$K = K_{\text{ОБ}} + K_{\text{ПОСТ}} + K_{\text{ПР}}; \quad (38)$$

где $K_{\text{ОБ}}$ – капитальные вложения на покупку основного оборудования, тыс.руб.;

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

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

$$K = 76725 + 0,2 \cdot 76725 + 0,1 \cdot 76725 = 99742,5 \text{ тыс. руб.};$$

Эксплуатационные издержки определяются по следующей формуле:

$$I_T = I_{\text{АМ}} + I_{\text{ЭКС}} + I_{\Delta W} + I_{\text{ПЭТ}}; \quad (39)$$

где $I_{\text{АМ}}$ – амортизационные отчисления в год, тыс.руб.;

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

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

$I_{\text{ПЭТ}}$ – стоимость закупки вторичного ПЭТ сырья, тыс.руб.

$$I_{\text{АМ}} = \frac{K_{\text{ОБ}}}{T_{\text{ОБ}}}; \quad (40)$$

где $T_{\text{ОБ}}$ – средний срок службы технологического оборудования, принимаем равным 15 годам;

$$I_{\text{АМ}} = \frac{76725}{15} = 5115 \text{ тыс. руб.};$$

					<i>ВКР.181132.18.03.01.ПЗ</i>	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		48

$$I_{\text{ЭКС}} = K \cdot a \cdot k_{\text{ДОП}}; \quad (41)$$

где $a = 0,1$ – ежегодные нормы отчислений на ремонт и обслуживание производства вторичной переработки ПЭТ;

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

$$I_{\text{ЭКС}} = 99742,5 \cdot 0,1 \cdot 1,1 = 10971,7 \text{ тыс. руб.};$$

Расходы на электроэнергию в сети определяются по следующей формуле:

$$I_{\Delta W} = C \cdot P_{\text{НОМ}} \cdot T \cdot k_W; \quad (42)$$

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

C – стоимость электроэнергии, равна, $6,74 \text{ руб./кВт} \cdot \text{ч}$;

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

$$I_{\Delta W} = 6,74 \cdot 550,85 \cdot 8400 \cdot 1,1 = 34305,6 \text{ тыс. руб.};$$

Расходы на покупку вторичного сырья рассчитываются по следующей формуле:

$$I_{\text{ПЭТ}} = C_0^{\text{ВТОР}} \cdot G_{\text{ВТОР.ПЭТ}}; \quad (43)$$

где $C_0^{(\text{втор})}$ – стоимость покупки одной тонны прессованного вторичного ПЭТ сырья, равна 27 тыс. руб./т;

$$I_{\text{ПЭТ}} = 27 \cdot 12574,37 = 339507,99 \text{ тыс. руб.};$$

$$I_T = 5115 + 10971,6 + 34305,6 + 339507,99 = 389900,3 \text{ тыс. руб.};$$

Расчет основных инвестиционных показателей будем производить в ПО MS Excel. Принимаем что капитальные вложения будут поступать в равных долях в течении первых двух лет. На установленную проектную мощность производство выйдет после пуско-наладочных работ на третий год. Результат инвестиционных показателей приведен в таблице 6 и рисунке 17.

					<i>ВКР.181132.18.03.01.ПЗ</i>	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		49

Таблица 6 – Основные инвестиционные показатели проекта

Показатель	Расчетная величина	Условие
NPV, тыс. руб.	644283	$NPV > 0$
DPP, лет	2,8	$DPP < T_{расч}$

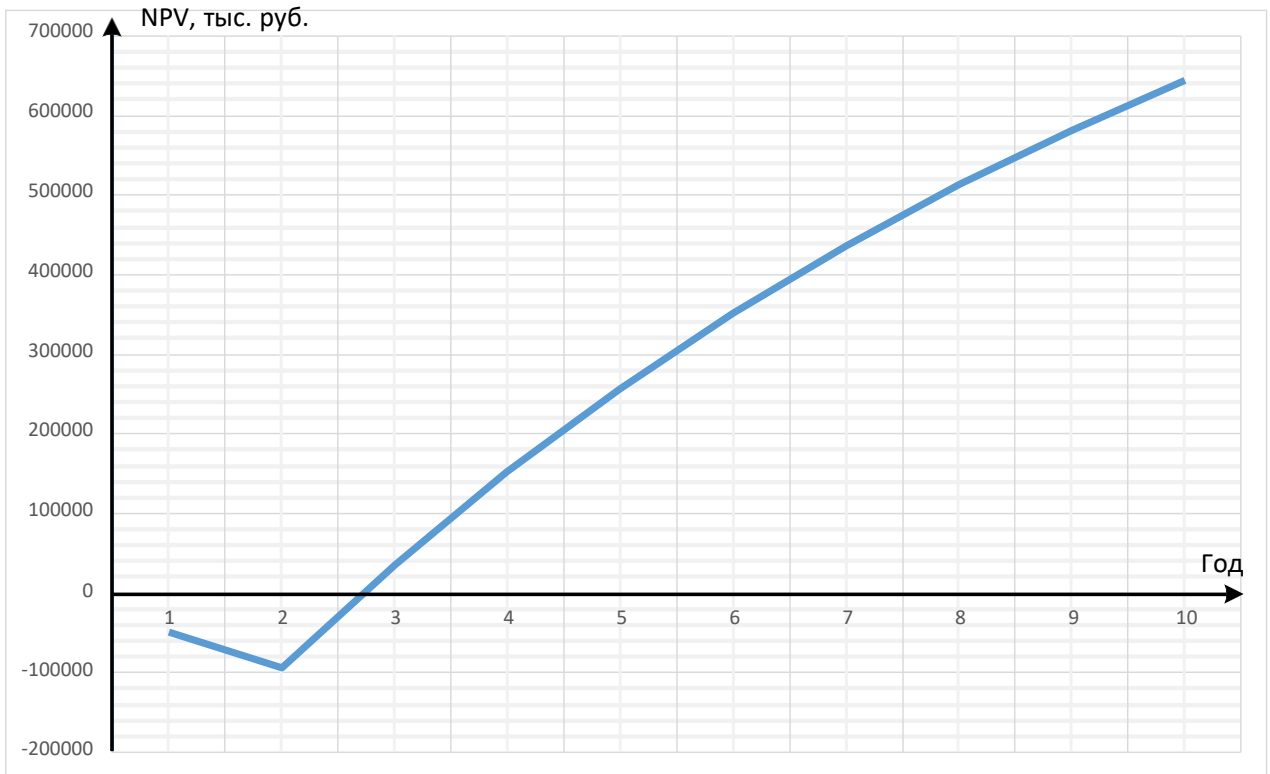


Рисунок 17 – Результат экономического расчета по проекту

Как видно из графика DPP равен 2,8 лет. В итоге так как проект окупается через 2,8 лет; его NPV к концу расчетного периода положителен и равняется 644283 тыс.руб., то данный проект может быть рекомендован к реализации.

4 БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ ПРОИЗВОДСТВА

4.1 Влияние опасных производственных факторов

В ГОСТе 12.3.030-83 «Система стандартов безопасности труда. Переработка пластических масс» [16] представлены основные опасные производственные факторы (ОПФ), с которыми может столкнуться обслуживающий персонал во время эксплуатации технологической установки:

1) Возникновение потенциала на открытых проводящих частях технологического оборудования:

Возможно поражение персонала электрическим током при касании металлических частей оборудования. Для предотвращения воздействия данного ОПФ все открытые проводящие части установки необходимо заземлять и контролировать целостность заземления.

2) Загрязнение воздушной среды:

В процессе гранулирования полимеров из вторичного сырья возникают аэрозвеси частиц гранулированных полимеров. Аэрозвесь частиц гранулированного полимера, как любая мелкодисперсная пыль пагубно влияет на лёгкие и слизистые работников. Для предотвращения данного воздействия необходимо оснащать помещения местными вентиляционными отсосами, также контролировать использование работниками средств органов дыхания.

3) Получение ожогов:

При контакте с горячими поверхностями установки все оборудование должно быть теплоизолировано. Для предотвращения получения ожогов необходимо обеспечить температуру наружной поверхности, не более 45 °С.

4) Повышенные уровни шума и вибрации:

При нахождении в помещении с повышенным уровнем шума происходит

					<i>ВКР.181132.18.03.01.ПЗ</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Карпенко В.А.</i>			<i>Новые технологии переработки ПЭТ-отходов</i>	<i>Лит</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Пров.</i>		<i>Гужель Ю.А.</i>				<i>у</i>	<i>51</i>	<i>57</i>
<i>Н. контр.</i>		<i>Родина Т.А.</i>				<i>АмГУ ИФФ</i>		
<i>Зав. каф</i>		<i>Гужель Ю.А.</i>				<i>Гр. 818-об</i>		

снижение внимания и производительности труда. Вибрация вызывает заболевание периферической нервной системы. Чтобы защитить организм человека от вибрации, применяются средства защиты не только для ног, но и для рук, например, виброизолирующая обувь, подметки и специальные стельки, прокладки и вкладыши, а также специализированные рукавицы и перчатки. Для предотвращения высокого шумового воздействия необходимо использовать специальные наушники или беруши.

5) Движущиеся и вращающиеся части машин и механизмов:

В процессе переработки вторичного сырья возможен риск получения травмы работником в результате воздействия подвижных частей оборудования, для избежания данного негативного воздействия необходимо оснастить оборудование специальными защитными ограждениями, также на рабочей одежде не должно ничего висеть (например, рукава должны быть засучены).

б) Воздействие токсичных химических веществ, используемых в процессе переработки:

Вредные вещества, содержание которых в воздухе рабочей зоны подлежит контролю при переработке ПЭТ-отходов:

Ацетальдегид – вызывает раздражение слизистых оболочек и дыхательных путей;

Диметилтерефталат – вызывает раздражение слизистых оболочек глаз и дыхательных путей;

Терефталевая кислота – вызывает раздражение центральной нервной системы, слизистых оболочек глаз, органов дыхания;

Уксусная кислота – вызывает раздражение верхних дыхательных путей;

Оксид углерода – вызывает головокружение, шум в ушах, чувство слабости.

Для предотвращения влияния данных токсичных веществ на организм человека, необходимо на территории оборудования установить «душ безопасности» для промывки сотрудниками пораженных частей тела, далее всегда нахо-

					<i>ВКР.181132.18.03.01.ПЗ</i>	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		52

дится на территории предприятия в специальной одежде, использовать перчатки, защитные очки для глаз и также иметь в шаговой доступности работника портативно-дыхательное устройство [17].

4.2 Воздействие на окружающую среду жидких отходов

Основным фактором, который оказывает негативное влияние на окружающую среду являются сточные воды.

При вторичной переработке пластика сточные воды содержат различные моющие средства и ПАВ. Попадая в водоемы в результате аварийной ситуации, например, прорыв трубы, они нарушают санитарный режим, происходит истощение запаса растворенного в воде кислорода, затрудняется теплообмен с атмосферой, замедляются процессы минерализации. ПАВ также оказывает токсичное действие на животных и обитателей водоемов. Величина предельно допустимых концентрации варьируется от вида ПАВ и категории водопользования. При безаварийном режиме работы предприятия применяется замкнутый оборотный цикл, который подразумевает очистку сточной воды и ее повторное использование. Для минимизации воздействия данного фактора на окружающую среду можно выполнять мероприятия по предотвращению попадания воды в окружающую среду и производить ее очистку. В первом случае принимаются следующие меры:

- 1) Обеспечить высокую герметичность оборудования, трубопроводов;
- 2) Производить регулярный контроль технического состояния техники.

По очистке воды применяются следующие меры:

- 1) Использование сетчатых фильтров, отстойников:

Это позволит очистить воду от механических примесей (этикетка от бутылки, природные загрязнители), поступающую от моющего отделителя и дробилки [17].

- 2) Использование флотационных моек:

На данном оборудовании происходит отделение остаточная часть примесей, например, остатки крышек или этикетки, механизм данного оборудования заключается в разности плотностей между примесями и водой.

					<i>ВКР.181132.18.03.01.ПЗ</i>	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		53

3) Нейтрализация кислотой и фильтрация керамзитом:

Данный метод применяется при прорыве трубопровода с раствором щелочи. Кислота применяется для нейтрализации, а керамзит в качестве влаговпитывающего материала и служит дополнительной фильтрации перед подачей в аппарат [16].

					<i>ВКР.181132.18.03.01.ПЗ</i>	Лист
						54
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы рассмотрены проблемы вторичной переработки ПЭТ-отходов, изучены методы переработки ПЭТ-отходов, а именно механический, химический и термический рециклинг. Также рассмотрены инновации во вторичной переработке, такие как технология «VolCat», «IN-MELT», «Vacurema Prime».

Составлена технологическая схема вторичной переработки по технологии «IN-MELT» с внедрением «зеленой гранулы» в объеме 10 % от производственной мощности первичного производства полиэтилентерефталата.

Выполнен расчет основного оборудования вторичной переработки – экструдер, составлен материальный баланс вторичного производства ПЭТ-отходов, подобрано необходимое оборудование для проектной мощности 1200 кг/ч.

Выполнен расчет основных показателей инвестиционной привлекательности проекта. По результатам вышло что дисконтированный срок окупаемости проекта равен 2 года и 8 месяцев, а чистый дисконтированный доход к концу расчетного периода положителен и составляет 644283 тыс. руб. Таким образом, при условии налаженных поставок ПЭТ-тары проект окупается и приносит прибыль, следовательно, его стоит принять к реализации

					<i>ВКР.181132.18.03.01.ПЗ</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Карпенко В.А.</i>			<i>Новые технологии переработки ПЭТ-отходов</i>	<i>Лит</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Пров.</i>		<i>Гужель Ю.А.</i>				<i>у</i>	<i>55</i>	<i>57</i>
<i>Н. контр.</i>		<i>Родина Т.А.</i>						
<i>Зав. каф</i>		<i>Гужель Ю.А.</i>						
						<i>АмГУ ИФФ Гр. 818-об</i>		

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1 Бобович, Б. Б. Утилизация отходов полимеров: учеб. пособие. / Б. Б. Бобович. – М. : МГИУ, 2004. – 62 с.

2 Бондалетова, Л. И. Процессы переработки сырья и рациональное использование природных ресурсов : учеб. пособие / Л. И. Бондалетов, В. Г. Бондалетова. – Томск : ТПУ, 2006. – 160 с.

3 Власов, С. В. Основы технологии переработки пластмасс / С. В. Власов, Л. Б. Кандырин, В. Н. Кулезнев. – М. : Химия, 2004. – 602 с.

4 Вторичная переработка пластмасс / отв. ред. А. И. Васильева. – СПб. : Наука, 2007. – 402 с.

5 Вторичная переработка пластмасс / под ред. Г.Е. Заикова. – Спб. : Профессия, 2006. – 400 с.

6 Кудашев С. В. Полиэтилентерефталат: особенности модификации, структура и направления рециклинга / С. В. Кудашев, В. Ф. Желтобрюхов, Т. И. Даниленко. – Волгоград. : ВолгГТУ, 2014. – 148 с.

7 Утилизация и вторичная переработка тары и упаковки из полимерных материалов : учеб. пособие / А. С. Клинков [и др.]. – Тамбов. : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2010. – 100 с.

8 Яшкарлова, М. Г. Полимерные комплексы : получение, свойства, применение : моногр. / Г. М. Яшкарлова. – Семипалатинск, 2003.

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

10 Direct INDUSTRY BY VIRTUALEXPO GROUP [Электронный ресурс]. – Режим доступа <https://www.directindustry.com/> - 02.06.2022.

11 Комсомольская правда [Электронный ресурс]. – Режим доступа

					<i>ВКР.181132.18.03.01.ПЗ</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>	<i>Карпенко В.А.</i>				<i>Новые технологии переработки ПЭТ-отходов</i>	<i>Лит</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Пров.</i>	<i>Гужель Ю.А.</i>					у	56	57
<i>Н. контр.</i>	<i>Родина Т.А.</i>				<i>АмГУ ИФФ Гр. 818-об</i>			
<i>Зав. каф</i>	<i>Гужель Ю.А.</i>							

<https://www.kp.ru/daily/26989/4049824/> - 02.06.2022.

12 Петров Н. А. Полимерные отходы: оценка образования и пути переработки / Н. А. Петров // Твердые бытовые отходы. – 2016. – № 8 – С. 46-49.

13 Химия и технология производства полиэтилентерефталата : учеб. пособие / У. Р. Урманцев [и др.] ; под ред. У. Р. Урманцева. – СПб. : Недра, 2016. – 156 с.

14 Учет затрат на производство продукции [Электронный ресурс] : «Клобби». – Режим доступа: <https://clobbi.com/ru/products/charges>. – 11.06.2022.

15 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.

16 ГОСТ 12.3.030-83 Издания. Система стандартов безопасности труда. – Введен впервые ; введ. 01.01.1984. – Москва : Министерством химической промышленности ; М. : Изд-во стандартов, 2001. – 7 с.

17 Вавельский, М.М. Защита окружающей среды от химических выбросов промышленных предприятий / М.М. Вавельский, Ю.М. Чебан. – Кишинев : Штиинца, 2013. – 199 с.

18 Шайерс Дж. Рециклинг пластмасс: наука, технологии, практика : моногр. / Дж. Шайерс. – Санкт-Петербург : Изд-во Научные основы и технологии, 2012. – 639 с.

19 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.

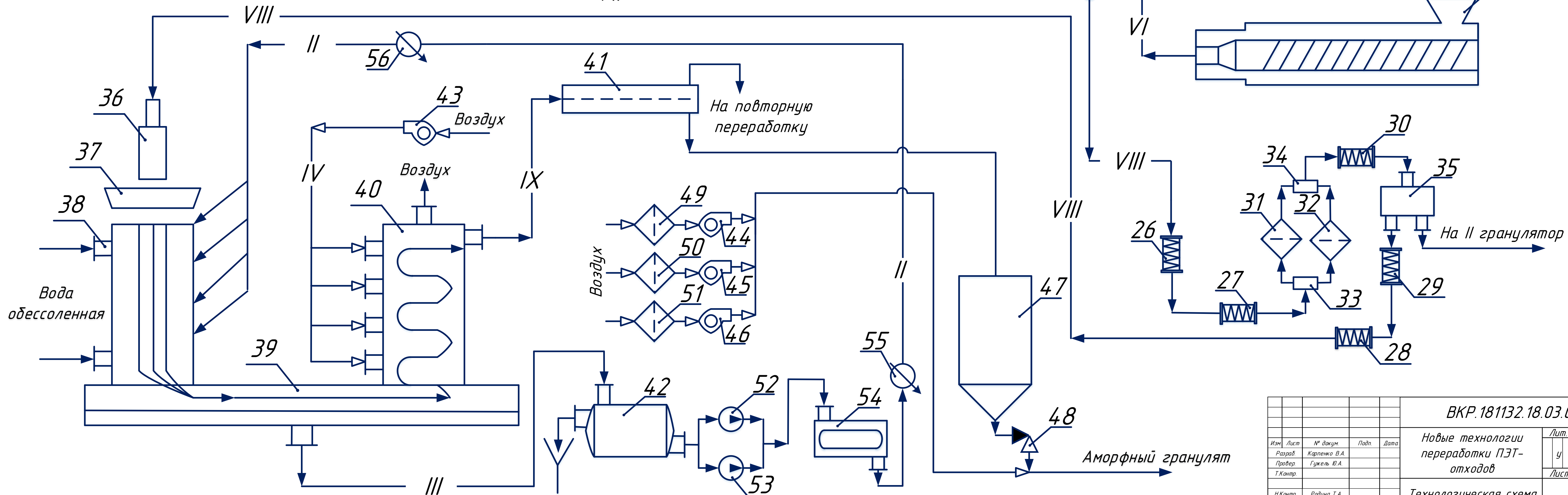
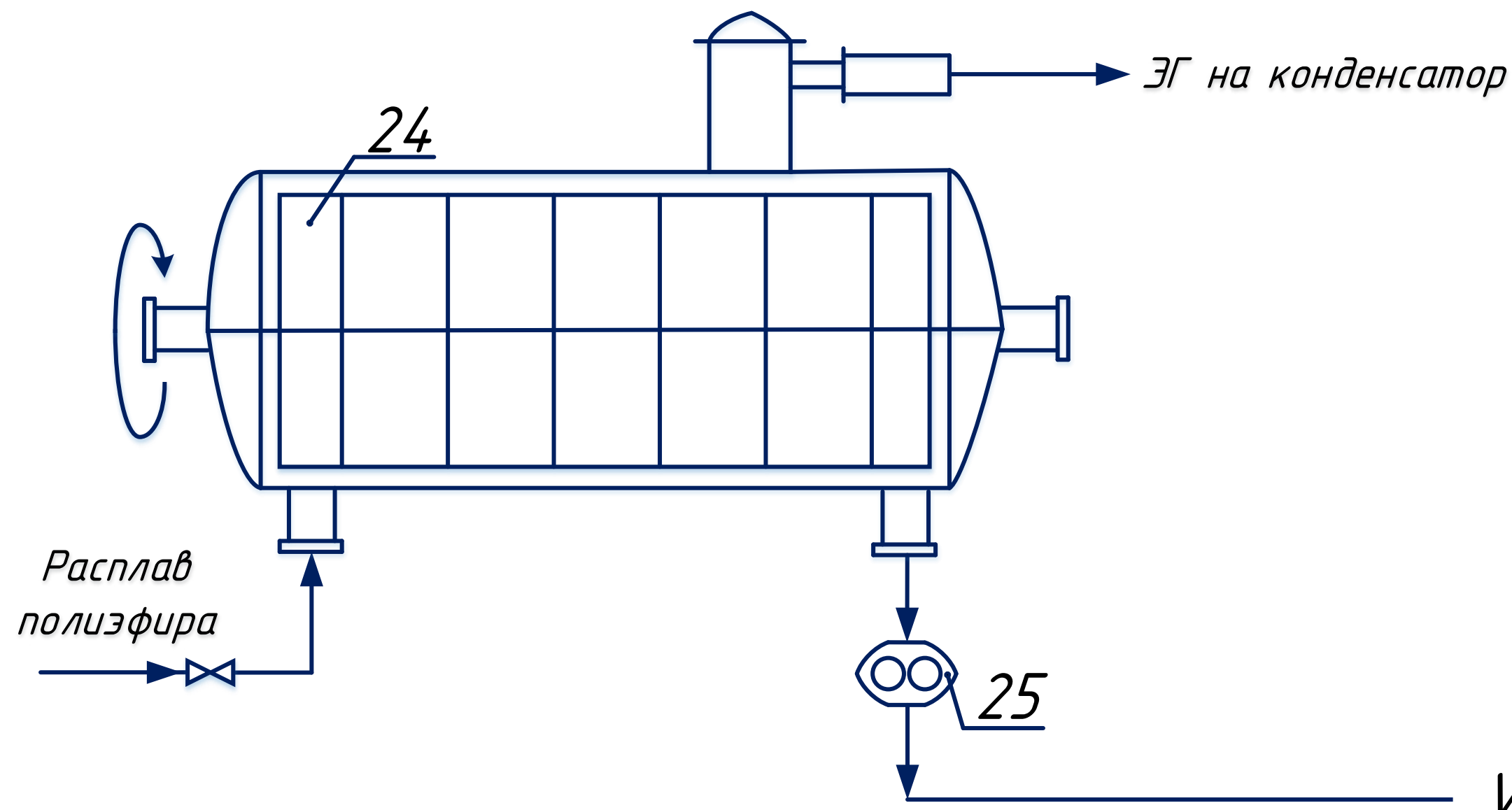
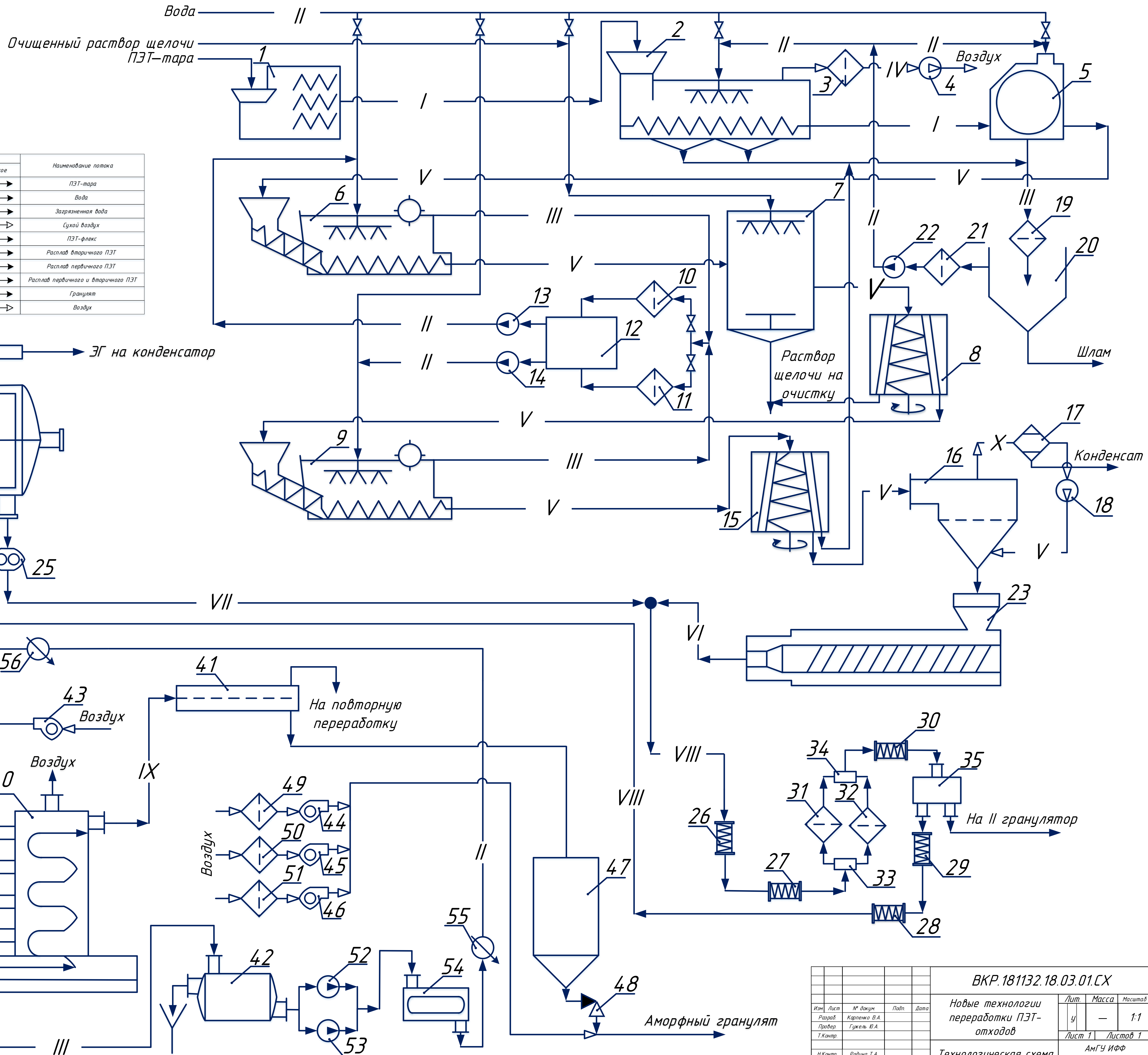
20 Галиуллина, Л. Р. Химический рециклинг ПЭТФ : научная публикация / Л. Р. Галиуллина // Материалы VI Международной конференции «Перспективные полимерные материалы». – Саратов, 2013. – С. 208-219.

21 Табаев, Б. В. Образование и характеристика отходов производства полиэтилентерефталата / Е. И. Маслеников, У. Р. Урманцев, И. Б. Грудников // Башкирский химический журнал. – 2012 – № 1. – С. 211-21.

					<i>ВКР.181132.18.03.01.ПЗ</i>	Лист
						57
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

Обозначение	Наименование	Кол-во
1	Кипароздвигатель	1
2	Отделитель этикетки	1
3,10,11,19,21,31,32,49,50,51	Фильтр	8
4,18	Компрессор	2
5	Роторная дробилка	1
6,9	Флотационная мойка	2
7	Подогреваемая мойка	1
8,15	Центрифуга	2
12	Буферная емкость	1
13,14,22	Насос	3
16	Сушилка	1
17	Осушитель воздуха	1
20	Отстойник	1
23	Экструдер	1
24	Поликонденсатор	1
25	Шестеренчатый насос	1
26,27,28,29,30	Статический смеситель	5
33,34,35	Тройник	3
36	Литьевая головка	1
37	Фильтр	1
38	Рубильное устройство	1
39	Отделитель воды	1
40	Воздушная сушилка	1
41	Классификатор	1
42	Сварник	1
43,44,45,46	Воздуходувка	4
47	Промежуточный бункер	1
48	Поворотный клапан	1
52,53	Насос	2
54	Фильтровальная машина	1
55,56	Теплообменник	2

Условное обозначение		Наименование потока
Цифровое	Графическое	
I		ПЗТ-тара
II		Вода
III		Загрязненная вода
IV		Сухой воздух
V		ПЗТ-флекс
VI		Расплав вторичного ПЗТ
VII		Расплав первичного и вторичного ПЗТ
VIII		Гранулят
IX		Воздух
X		Воздух



				ВКР.181132.18.03.01.СХ		
				Новые технологии переработки ПЗТ-отходов		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	Лит.	Масса
					у	—
Разраб.		Карпенко В.А.				1:1
Пробер.		Гужель В.А.				
Т.Контр.					Лист 1	Листов 1
Н.Контр.		Родина Т.А.			АмГУ ИФФ	
Утвержда		Гужель В.А.			гр. 818-об	
				Технологическая схема		