

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт химии и инженерной экологии

(наименование института полностью)

Кафедра «Рациональное природопользование и ресурсосбережение»

(наименование кафедры)

18.03.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии,
нефтехимии и биотехнологии

(код и наименование направления подготовки, специальности)

«Рациональное природопользование, рециклинг и утилизация отходов»

(направленность (профиль)/специализация)

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему Разработка технологии переработки полиэтилентерефталата в
модификатор для битума

Студент

М.М. Коршунов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

Ю.Н. Шевченко

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Консультанты

В.В. Петрова

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

О.А. Головач

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Допустить к защите

Заведующий кафедрой к.п.н., доцент М.В. Кравцова

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

(личная подпись)

« ____ » _____ 2019г.

Тольятти 2019

АННОТАЦИЯ

Бакалаврскую работу выполнил: Коршунов М. М..

Тема бакалаврской работы: Разработка технологии переработки полиэтилентерефталата в модификатор для битума.

Научный руководитель: Шевченко Ю. Н.

Целью работы является улучшение свойств дорожного битума за счет модифицирования его вторичными продуктами полиэтилентерефталата.

Объектами темы исследования являются: дорожный битум и отходы полиэтилентерефталата, которые перерабатываются на предприятии ООО «ЭкоРесурсПоволжье».

Бакалаврская работа изложена на 40 листах, включает 12 таблиц, 8 рисунков, список из 20 используемых источников.

Бакалаврская работа состоит из введения, двух разделов, заключения и списка используемых источников. Во введении сформулированы цель и задачи исследования, обоснована актуальность выбранной темы.

В первом разделе рассмотрен теоретический анализ и литературный обзор способов получения дорожного битума. Проанализированы существующие технологии получения битума и выбран наиболее оптимальный способ его получения.

Во втором разделе лабораторными исследованиями определен оптимальный состав модифицированного битума, подобрана технология его получения и выполнен расчет материального баланса.

В заключении приведены основные выводы по данной работе.

ABSTRACT

The aim of the work is to improve the properties of road bitumen by modifying it with secondary products of polyethylene terephthalate.

The objects of research are: road bitumen and waste of polyethylene terephthalate, processed at the enterprise EcoResourcePolga region.

The bachelor's work is presented on 40 sheets, includes 12 tables, 8 figures, a list of 20 sources used.

Bachelor's work consists of an introduction, two chapters, a conclusion and a list of sources used. In the introduction, the goal and objectives of the study are stated, the relevance of the chosen topic is substantiated.

The first section discusses the theoretical analysis and literature review of ways to obtain road bitumen. Analyzed existing technologies for bitumen and selected the most optimal.

In the second section, laboratory studies have determined the optimal composition of the modified bitumen, selected the technology for its production, and calculated the material balance.

In conclusion, the main conclusions about the work done.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1 Теоретический анализ в области использования полиэтилентерефталата в модификатор для получения битума	Ошибка!
Закладка не определена.	
1.1 Литературный обзор в области получения дорожного битума.....	7
1.1.1 Физикохимические свойства битумов	9
1.1.2 Применение битума	12
1.1.3 Принципиальная технологическая схема получения окислительного битума с описанием	13
1.2 Характеристика отходов полиэтилентерефталата	14
1.2.1 Получение полиэтилентерефталата	15
1.2.2 Физико-химические свойства полиэтилентерефталата	18
1.2.3 Существующие способы переработки полиэтилентерефталата ...	21
1.3 Характеристика исследуемого производственного объекта	24
1.3.1 Технологический процесс переработки полиэтилентерефталата на предприятии ООО «ЭкоРесурсПоволжье».....	26
1.3.2 Проблемы при переработке полиэтилентерефталата	30
2 Совершенствование технологии получения битума с применением вторичного сырья полиэтилентерефталата	31
2.1 Экспериментальное получение модифицированного битума.....	31
2.2 Расчет материального баланса.....	33
2.3 Расчет энергетического баланса.....	36
2.3 Совершенствование технологического процесса получения окислительного битума за счет его модификации полиэтилентерефталатом.	39
2.4 Анализ преимуществ предлагаемой технологии.....	40
ЗАКЛЮЧЕНИЯ.....	41
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	42

ВВЕДЕНИЕ

От качества дорожного битума зависит плотность и стойкость к внешнему воздействию дорожное полотно. Существующие битумы в большинстве случаев имеют низкие адгезионные свойства, из-за этого склеиваются только основная порода и минеральные частицы. Вследствии этого практически на всей территории Российской Федерации асфальт склонен к хрупкости.

Российская Федерация является страной, в которой не редко наблюдается скачек температуры (днем положительная, вечером минусовая). И когда в небольшие трещины дорожного полотна попадает вода, то она буквально разрывает его, поэтому на асфальте образуются трещины.

Улучшение свойств и правильный выбор их с учетом территориальных и эксплуатационных условий, приведет к долговечности дорожного полотна. Однако, углубление переработки нефти в целях увеличения объемов выхода топливных и масляных компонентов приводит ухудшению качества битумов. Отечественные дорожные битумы различных марок не отвечают требованиям дорожного строительства по показателям низкотемпературной стойкости, теплоустойчивости, эластичности.

Поиск эффективных технологий и экологически приемлемых методов получения дорожных битумов – основная задача разработчиков. Не менее важными задачами являются решение проблем очистки и утилизации или поиска квалифицированного использования возможных отходов процесса.

Актуальность темы: отсутствие единой реализованной системы вовлечения в процесс получения дорожных битумов качественных и дешевых модификаторов.

Проблема исследования: внедрение в строительство дорожного полотна битумов, которые, за счет климатических условий и нагружаемости большим количеством автотранспорта, быстро теряют свои свойства.

Цель работы: улучшение свойств дорожного битума за счет модифицирования его вторичными продуктами полиэтилентерефталата.

Объект исследования: отходы полиэтилентерефталата, перерабатываемые на предприятии ООО «ЭкоРесурсПоволжье».

Предмет исследования: технологический процесс получения битума посредством вовлечения в него вторичного сырья полиэтилентерефталата.

Задачи работы:

1. Провести теоретический анализ получения дорожных битумов.
2. Проведение экспериментальных исследований для улучшения свойств дорожного битума.
3. Выбор и совершенствование технологии получения дорожного битума.

1 Теоретический анализ в области использования полиэтилентерефталата в модификатор для получения битума

1.1 Литературный обзор в области получения дорожного битума

Проблема внедрение в строительство дорожного полотна битумов, которые, за счет климатических условий и нагружаемости большим количеством автотранспорта, быстро теряют свои свойства, является предметом ряда научных работ, в которых авторы обозначают свою точку зрения на возможность модифицирования битума полимерными модификаторами.

Так, в патенте № 24112223 «Полимерно-битумный вяжущий материал и способ его получения» Кремнецкая Е. В., Горячев М. В., Игошин Ю. Г., Короницын А. Ю. предлагают способ получения модифицированного битума, который содержит битум и полимерный компонент. При этом в качестве битума используются битумы кровельный и строительный, а в качестве полимера используется стирол-бутадиен-стирольный полимер[1].

Недостатком данной технологии является внедрение дорогостоящего и сложного оборудования.

Так же, в патенте № 2138459 «Полимерно-битумная композиция» авторы Воротников Б. Ю., Корниецкий А. Е., Корниецкий Ю. А., Почечура В. Н. презентуют полимерно-битумную композицию, которая включает в себя отходы термопластичных полимеров, отработанное минеральное масло и битум[2].

Недостатком данной композиции является качество и природа используемых отходов полимеров, что не обеспечивает постоянство эксплуатационных свойств предлагаемой композиции.

Поэтому в данной работе будут рассмотрены существующие способы получения битума, которые пользуются спросом на промышленном уровне.

В настоящее время битумы получают тремя способами. К ним относятся: остаточные, окисленные и компаундированные битумы[3].

Остаточные битумы получают путем глубоковакуумной отгонки в вакуумных установках смазочных и топливных продуктов высокосмолистой нефти. Остаточные битумы являются твердыми веществами с небольшой вязкостью.

Окисленные битумы получают путем продувки кислородом воздуха гудроны и иные нефтяные остатки. За счет продувки кислородом гудрон и нефтяные остатки окисляются, тем самым, у них увеличивается вязкость. Окисленный битум, по сравнению с остаточным битумом, более эластичен и теплостоек[3].

Компаундированные битумы получают путем смешивания остатков получаемых при переработке сырой нефти. В известных технологиях компаундирования битумов часто используются добавки, например, дегти, нефтяные фракции (лягкие), каменноугольные масла.

В таблице 1 в приведены технические свойства битумов полученных по разным технологиям[3].

Таблица 1 – Технические свойства битумов полученных по разным технологиям

Битум	Температура, °С		Проникновение иглы 0,1 мм, при		Растяжимость при 25°С, см
	размяг- чение	хруп- кость	25°С	0°С	
Битум окисл.	43	-17	119	34	80
Битум остат.	44	-9	118	24	>100
Битум комп.	43	-12	110	28	>100

Таким образом, наиболее эффективное получение предоставили технологии получения битума компаундированным способом. Однако данные процессы имеют более сложную технологическую схему, из чего следуют более высокие затраты на обслуживание, ремонт и замену аппаратуры, а так

же более высокое энергопотребление установки. Поэтому в данной работе мы будем рассматривать технологию получения битума при помощи окисления кислородом воздуха гудрона и различных нефтяных остатков.

1.1.1 Физико – химические свойства битума

Полный химический состав очень сложен, но все элементарные соединения делятся на четыре группы:

1. Твёрдые компоненты – высокомолекулярные углеводороды (асфальтены, карбоиды, карбены), придающие тугоплавкость и твёрдость. Их содержание колеблется в пределах 10–40%.

2. Смолы – серосодержащие аморфные соединения, благодаря которым битум обладает хорошей адгезией к различным поверхностям. Содержание – от 20 до 40%.

3. Кислоты играют роль поверхностно-активных веществ, которые защищают материал от воздействия ультрафиолета, создавая на поверхности плёнку. Их содержание в составе не достигает 3 %[4].

4. Нефтяные масла состоят из различных углеводородных соединений и придают вязкость и термопластичность (30 – 60 %).

Это вещество обладает термопластичностью за счёт высокого содержания нефтяных масел. Серосодержащие и кислородосодержащие смолы обеспечивают этому веществу отличные свойства адгезии. Нефтяной битум разделяется на два вида – природного и искусственного происхождения. Битум имеет плотную не пористую структуру, благодаря чему он хорошо выдерживает низкие температуры и имеет высокое сопротивление к воде. При нагревании битум становится более вязким и разжижается, при понижении температуры он вновь возвращается в твёрдое состояние. Размягчённый битум можно легко смешать с различными строительными материалами. В процессе застывания, он прочно склеивает их, тем самым обеспечивая надежное соединение.

Свойства битумов, которые характеризуют их качество[4]:

- вязкость;
- пластичность;
- температура размягчения;
- температура хрупкости;
- температура вспышки;
- высокая адгезия.

Вязкость – представляет собой сопротивление внутренних слоев битума перемещению относительно друг друга. Вязкость это одна из основных характеристик структурно-механических свойств битумов, которая зависит от температуры и группового состава. Для многих битумов вязкость непостоянна и уменьшается с увеличением напряжения сдвига или градиента скорости деформации. При повышении температуры вязкость снижается, при ее понижении вязкость быстро возрастает, а при отрицательных температурах битум становится хрупким[4].

Для характеристики вязкости, точнее, величины обратной вязкости, т.е. текучести битумов, принимается условный показатель глубина проникания иглы в битум (пенетрация)[4]. Глубину проникания иглы в битум определяют на приборе — пенетрометре. Пенетрация твердых или вязких битумов выражается в единицах (градусах), равных 0,1 мм проникания иглы в битум. Чем больше вязкость, тем меньше проникание иглы в битум.

Пластичность является следующим важным свойством битумов. Она повышается с увеличением содержания масел, длительности действия нагрузки и повышения температуры. Пластические свойства твердых и вязких битумов условно характеризуются способностью вытягиваться в тонкие нити под действием внешних постоянных сил (дуктивность)[5]. Дуктилометр – это прибор, который определяет растяжимость. Так, например, с повышением содержания смол и асфальтенов пластичность при постоянной температуре битумов возрастает.

Существенной характеристикой свойств битума является также и температура размягчения[5]. Температура размягчения вязких и твердых битумов колеблется в пределах от 20 до 95 °С.

Для характеристики тепловых свойств битумов кроме температуры размягчения определяют температуру хрупкости.

Температуру хрупкости битума определяют на специальном приборе Фрааса. Для этой цели испытуемый битум наносят тонким слоем на латунную пластинку, которая вместе с битумом может охлаждаться и изгибаться с помощью приспособления, имеющегося на приборе[5].

Температура вспышки - температура, при которой пары образующиеся при нагревании битума в открытом тигле, воспламеняются от поднесенного пламени[3]. Температуру вспышки определяют на стандартном приборе и отмечают по показанию термометра в момент вспышки паров битума. Температура вспышки твердых и вязких битумов обычно выше 200 °С и характеризует степень огнеопасности битума при его разогреве.

Высокая адгезия – это еще одна особенность битумов, это прилипание различных органических и минеральных материалов к поверхности. Отличное прилипание битума происходит только когда пленка битума на поверхности щебня или гравия полностью сохранилась в дисстилизованной воде после кипячения. Когда пленка битума после кипячения смещается с минеральных зерен и вскрывается на поверхность воды оценивается в один балл, что является очень плохим прилипанием.

В таблице 2 представлены все вышеперечисленные свойства нефтяного битума[5].

Таблица 2 – Свойства нефтяных битумов

Свойства нефтяных битумов			
Показатель	Жидкие	Полутвердые	Твердые
Т размягчения, °С	-	25 - 50	60 - 90
Пенетрация(при 25°С), мм	-	4 - 20	0 - 5

Продолжение таблицы 2

Свойства нефтяных битумов			
Растяжимость (при 25°C), см	60	40 - 60	1 - 5
T _{вспышки} , °C	65-120	180 - 200	>230

1.1.2 Применение битума

Битум — широко известный и распространенный инженерно-строительный материал, который используют в различных сферах[5]:

- для устройства гидроизоляции в строительстве дорог, зданий и сооружений, а так же прокладке трубопроводов;
- в производстве асфальтобетона;
- при изготовлении кровельных материалов;
- в лакокрасочной и кабельной промышленности;
- для заливочных аккумуляторных мастик и др[3].

В таблице 3 приведен объем производства битумов по видам[5].

Таблица 3 – Объем производства битума по видам за 2018 год

Наименование	Объем, тыс.т.год
Битумы нефтяные дорожные	5024,4
Битумы нефтяные строительные, кровельные, изоляционные и аналогичные	719,9
Битумы нефтяные строительные, кровельные, изоляционные и аналогичные	719,9
Всего:	5746,7

1.1.3 Принципиальная технологическая схема получения окислительного битума с описанием

Гудрон с температурой 153°C, показание на термометре насосом 1 подается в среднюю часть колонны окисления 2. С гудроном одновременно в колонну окисления 2 подается воздух, изначально подогретый в теплообменнике до температуры примерно 60 °C. Температура в колонне 250 °C и давление 0,5 МПа, показание на термометре и манометре, нагреваемый воздух через жидкий гудрон поступает в распределительное устройство и там же бортируются. Каплеотбойник для предотвращения уноса капель гудрона, установлен в верхней части окислительной. При аварийной ситуации в колонне окисления 2 для регулировки давления установлен клапан, который срабатывает при давлении 0,6 МПа. Газообразные продукты поступают на факел после срабатывания клапана. С низа колонны окислительный битум подается в емкость (которая обогревается топочными газами, которые в свою очередь забираются из печи дожигания) для его хранения. После обогрева попадает в емкости для хранения битума, газ подают в адсорбер. В процессе окисления из верхней части окислительной колонны удаляются продукты неполного сгорания (углеводородные газы, абгаз, остатки кислорода, углеводородные газы, углекислый газ, остатки кислорода), охлаждаются в холодильнике - конденсаторе и поступают в сепаратор. В сепараторе конденсат (черный соляр) отделяется от газов. С низа подается в емкость сепаратора насосом черный соляр. Часть черного соляра из емкости идет на печь дожигания. Газы из верхней части сепаратора дожигаются в печи дожигания.

На рисунке 1 представлена схема получения окислительного битума[5].

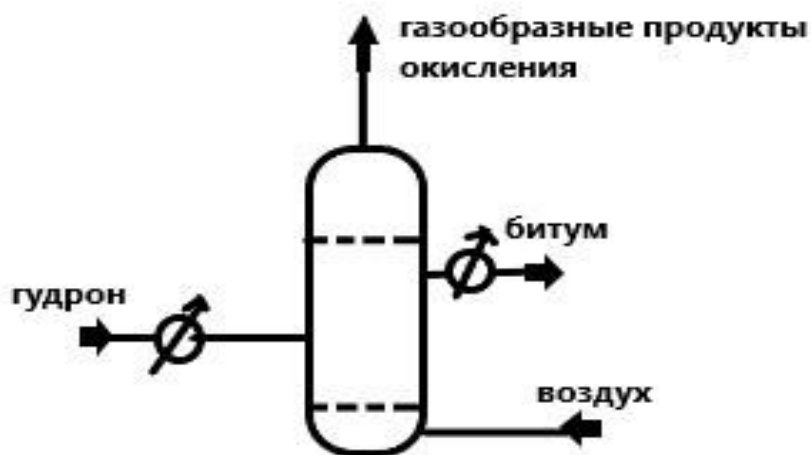


Рисунок 1 – Принципиальная схема получения окислительного битума

1.2 Характеристика отходов полиэтилентерефталата

Полиэтилентерефталат – это термопластик, один из наиболее распространенных представителей класса полиэфиров. Является продуктом поликонденсации этиленгликоля с терефталевой кислотой (также с ее диметилowym эфиром)[6].

Структурная формула полиэтилентерефталата представлена на рисунке 1.

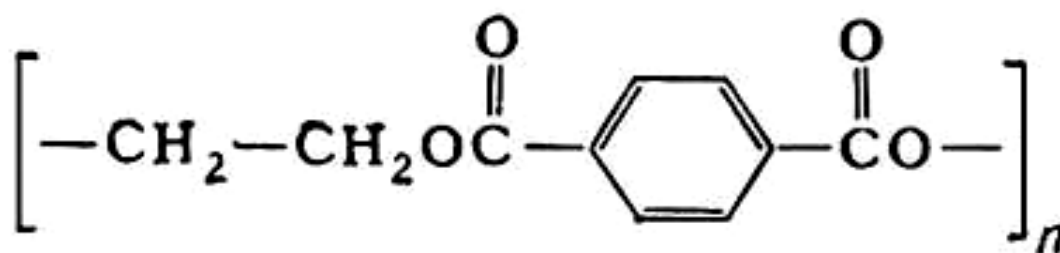


Рисунок 2 – Структурная формула полиэтилентерефталата

1.2.1 Получение полиэтилентерефталата

ПЭТФ можно получить тремя известными способами:

- 1) Перезтрификацией диметилтерефталата и этиленгликоля;

- 2) Поликонденсацией этиленгликоля с терефталевой кислотой;
- 3) Реакцией дихлорангидрида терефталевой кислоты и этиленгликоля.

На промышленном уровне наиболее применяемым способом является первый из трех вышеперечисленных способов. ПЭТФ имеет две стадии по переодической или непрерывной схеме. Переэтерификация (первая из двух стадий получения ПЭТФ) заключается в замещении метильных групп ДМТ этиленгликоливыми. ПЭТФ получают при остаточном давлении 133 – 665 Па и температуре 270 – 290 °С[6].

Технологический процесс производства ПЭТФ переэтерификацией диметилтерефталата и этиленгликоля состоит из следующих стадий (рисунок 3)[7].

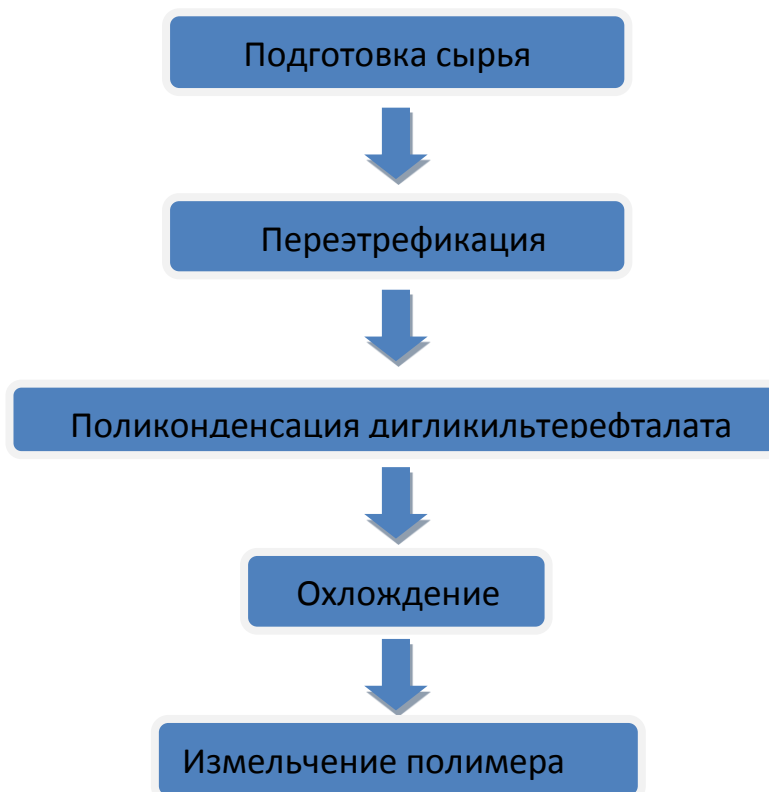


Рисунок 3 – Стадии технологического процесса производства ПЭТФ

Блок-схема получения ПЭТФ переэтерификацией диметилтерефталата и этиленгликоля представлен на рисунке 4[7].

Реактор 1, нагревают до 140°C, затем загружают диметилтерефталат и этиленгликоль с температурой до 125 °С в котором находится раствор

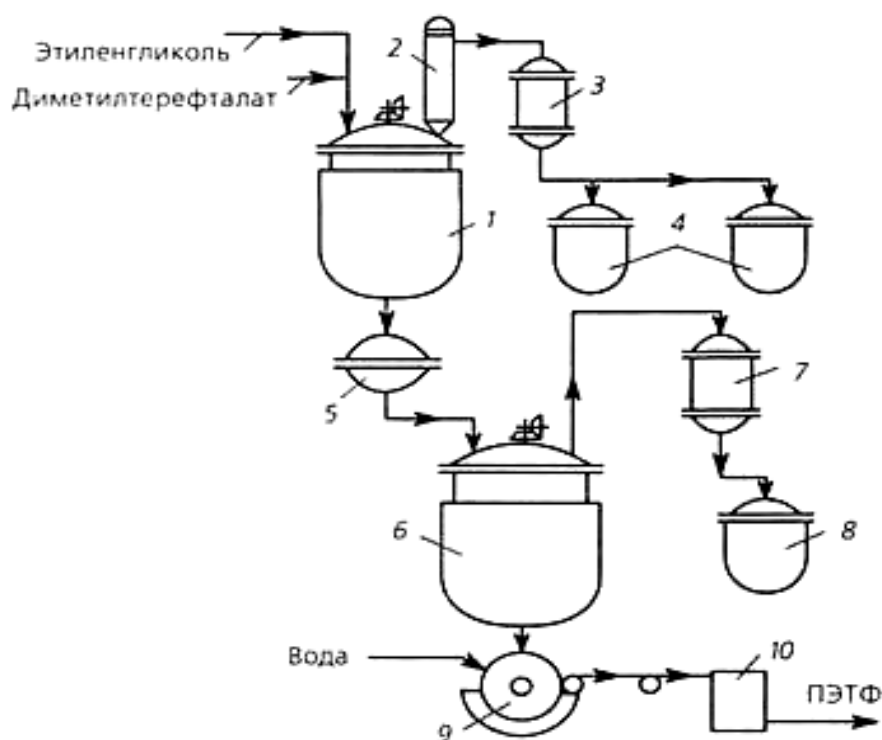
ацетата цинка, все эти компоненты берутся в определенных количествах (масс, ч.): диметилтерефталат 80, этиленгликоль 100, ацетат цинка 0,01.

Процесс переэтерификации проводят в токе углекислого газа или азота при 200 – 230 °С в течении 4 – 6 часов. Также реактор 1 имеет насадочную колонну 2, ее роль заключается в разделении паров этиленгликоля и метилового спирта[7]. Из холодильника 3 метиловый спирт собирается в приемнике 4, а диметилтерефталат (возгоняющийся) смывается в колонне этиленгликолем с насадкой и далее возвращается в реактор. После процесса отгонки метилового спирта температуру повышают примерно до 270 °С (± 10 °С) и далее отгоняют избыточный этиленгликоль.

Дигликольтерефталат (расплавленный) сливают через сетчатый фильтр 5, который сделан из металла в реактор 6. В течении 0,5 – 1 часа после его загрузки создается вакуум, остаточное давление которого 267 Па. Процесс поликонденсации проводят при 280 °С от 3 до 5 часов до получения расплава с нужной вязкостью. Далее выделившийся этиленгликоль отгоняют, следом конденсируют в холодильнике и собирают в приемнике. ПЭТФ (расплавленный) выдавливают сжатым воздухом через щелевое отверстие из реактора в виде пленки на барабан, и помещают в ванну с водой. На станке 10 охлажденная пленка рубится и в виде крошки поступает на сушку и упаковку.

Молекулы ПЭТФ с регулярным расположением функциональных групп являются линейными, что предопределяется высокой молекулярной симметрией терефталевой кислоты и этиленгликоля. На каждое элементарное звено конфигурация цепей почти плоская и имеет два центра симметрии. Поворот гликольного остатка (вокруг связи $-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$) обуславливается существованием гош- и транс- изомеров [7], которые отличаются взаимным расположением атомов водорода. Звенья с транс-конфигурацией входят в кристаллическую фазу, а гош- и транс- изомеры входят в аморфную. Одним из главных условий кристаллизации ПЭТФ служит переход всех звеньев в транс-конфигурацию.

На сегодняшний день наиболее перспективным способ синтеза ПЭТФ из этиленгликоля и терефталевой кислоты по непрерывной схеме, который является одностадийным. Причины тому следующие: метанол из процесса исключается, так же удельный расход этиленгликоля и терефталевой кислоты значительно уменьшается. Однако такой процесс имеет более сложную технологическую схему, из чего следует более высокие затраты на обслуживание ремонт и замену аппаратуры.



1,6 — реакторы; 2 — насадочная колонна; 3,7 —холодильники; 4,8 — приемники; 5 — фильтр; 9 — охлаждаемый барабан; 10 — дробилка

Рисунок 4 – Блок-схема получения полиэтилентерефталата

Структурная формула получения полиэтилентерефталата процессом синтеза ПЭТФ из этиленгликоля и терефталовой кислоты представлена на рисунке 5[7].

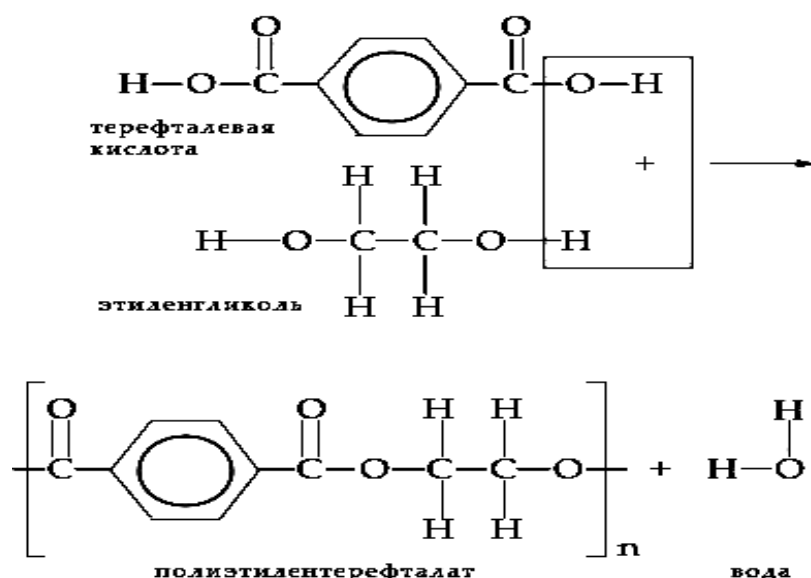


Рисунок 5 – Структурная формула получения полиэтилентерефталата

Объем производства бутылочного ПЭТФ в Российской Федерации за последние три года представлен в таблице 4.

Таблица 4 – Объем производства бутылочного ПЭТФ в Российской Федерации за последние три года[7].

Год	Объем, т/год
2016	536
2017	578
2018	600

1.2.2 Физико-химические свойства полиэтилентерефталата

ПЭТФ делиться на два вида: аморфный и кристаллический. Аморфный ПЭТФ – это твердый прозрачный материал, который имеет серовато-желтый оттенок. Кристаллический ПЭТФ – это твердый непрозрачный материал, который не имеет оттенка (бесцветный). ПЭТФ отличается низким коэффициентом трение (это относится в том числе и к маркам, содержащих в своем составе стекловолокно). Также ПЭТФ характеризуется высокой термостойкостью расплава (2900 °С). деструкция ПЭТФ на воздухе

начинается при температуре на 500 °С ниже, в сравнении с инерной средой. ПЭТФ является прочным, жестким и легким материалом[8].

ПЭТФ устойчив при многократной деформации, то есть, при изгибах и растяжениях, также является механически прочным и ударостойким материалом. Также ПЭТФ способен сохранять свои высокие ударостойкие и прочностные характеристики в рабочем диапазоне температуры от – 40 до + 60°С[6].

Кроме того, ПЭТФ – диэлектрик, его электрические свойства даже в присутствии влаги при температурах до 180 °С изменяются незначительно[7].

ПЭТФ не растворяется в воде и во многих органических растворителях, растворяется лишь в хлороформе, пиридине, метилэтилкетоне, этилацетате и др. Также неустойчив к кетонам, к сильным кислотам и щелочам.

Основные характеристики полиэтилентерефталата представлены в таблице 5[8].

Таблица 5 – Основные характеристики полиэтилентерефталата

1	2
Плотность аморфного полиэтилентерефталата	1,33 г / см ³
Плотность кристаллического полиэтилентерефталата	1,45 г / см ³
Коэффициент теплового расширения (расплав)	1,38-1,40 г / см ³
Теплопроводность	0,14 Вт / (м · К)
Сжимаемость (расплав)	99 · 10 ⁶ Мпа
Диэлектрическая постоянная при 23 °С и 1 кГц	3,25

Продолжение таблицы 5

1	2
Тангенс угла диэлектрических потерь при 1 МГц	0,013 - 0,015
Температура стеклования аморфного ПЭТФ	67 °С
Температура стеклования кристаллического полиэтилентерефталата	81°С
Температура плавления	250 – 265 °С
Температура разложения	350 °С
Показатель преломления (линия Na) аморфного полиэтилентерефталата	1,576
Показатель преломления (линия Na) кристаллического полиэтилентерефталата	1,640
Температура стеклования кристаллического полиэтилентерефталата	81°С
Температура плавления	250 – 265 °С
Температура разложения	350 °С
Показатель преломления (линия Na) аморфного полиэтилентерефталата	1,576
Показатель преломления (линия Na) кристаллического полиэтилентерефталата	1,640
Предел прочности при растяжении	172 МПа
Модуль упругости при растяжении	1,41·10 ⁴ МПа
Влагопоглощение	0,3 %

Продолжение таблицы 5

1	2
Допустимая остаточная влага	0,02 %
Морозостойкость	до –60 °С

1.2.3 Существующие способы переработки полиэтилентерефталата

ПЭТФ считается одним из простых перерабатываемых материалов. Переработка ПЭТФ считается одной из самых успешных и распространенных направлений в переработке полимеров.

Переработку ПЭТФ, а точнее ее методы, разделяют на четыре группы, а именно: первичную, вторичную, третичную и четвертичную.

Первичная переработка или **повторная экструзия** является самой старой из всех способов переработки ПЭТФ. Повторная экструзия непопулярна среди предприятий по переработки пластика, так как требует чистый материал, что в свою очередь высокзатратно и не целесообразно.

Вторичная переработка или **механическая переработка**, появилась еще в 1970-х годах. Она представляет собой удаление загрязнений от полимера и при помощи механических средств переработку ПЭТФ в гранулы.

Механическая переработка включает в себя следующие этапы[8]:

- сортировка и разделение отходов;
- удаление загрязнений;
- уменьшение размера путем сминания и перемалывания;
- экструзия под действием тепла;
- риформинг.

Сложность переработки отходов ПЭТФ механической переработкой заключается в следующем, отходы разнообразны и их нужно разделять, также большое количество отходов сильно загрязнены.

Третичная переработка или **химическая переработка**, представляет собой преобразование полимерной цепи ПЭТФ. ПЭТФ может быть расщиплен на такие реагенты, как вода, спирты, кислоты, амины и гликоли[8].

Существуют три метода химической переработки ПЭТФ, в зависимости от добавления молекул, несущие гидроксил: гликоль для гликолиза, метанол для метанолиза и соответственно вода для гидролиза. Другие методы – аминализ и аммолиз.

Четвертичная переработка или **сжигание**, является экологически неприемлимым из-за потенциального риска для здоровья человека, поскольку при сжигании отходов в окружающую среду и воздух попадают токсичные вещества.

Из всего вышеперечисленного можем сделать вывод, что самым распространенным и применяемым способом переработки ПЭТФ является механический способ. Так как он наиболее выгоден с экономической точки зрения, и является наиболее экологически безопасным.

В таблице 6 представлены способы переработки ПЭТФ[8].

Таблица 6 – Способы переработки отходов ПЭТ

Способ переработки	Степень загрязнения отходов	Доля способа*, %	Области применения переработанных отходов
Механический	Низкая и частично средняя	70 – 75	Производство ПЭТ-тары, волокон, нитей, нетканых материалов, пленок
Химический	Средняя	5	Получение исходного сырья для повторного синтеза ПЭТ и других полиэфиров для производства клеев
Термический	Сильная	20 – 25	Сжигание для получения тепловой энергии или пиролиз для получения жидких и газообразных топлив

1.3 Характеристика исследуемого производственного объекта

Основной деятельностью ООО «ЭкоРесурсПоволжье» является сбор, транспортирование, обработка и утилизация твёрдых коммунальных отходов, принимаемых от жилого фонда и коммерческих организаций. Деятельность осуществляется на основании лицензии серия 63 № ОТ-0239, выданной Управлением Федеральной службы по надзору в сфере природопользования по Самарской области.

В таблице 7 представлены общие сведения о предприятии ООО «ЭкоРесурсПоволжье».

Таблица 7 – Общие сведения о предприятии

1	2
Полное наименование юридического лица	ООО «ЭкоРесурсПоволжье»
Организационно-правовая форма	Общество с ограниченной ответственностью
Адрес предприятия юридический	445007, РФ, Самарская обл., г. Тольятти, ул. Новозаводская, дом 2А, строение 301
Адрес предприятия почтовый	445007, РФ, Самарская обл., г. Тольятти, ул. Новозаводская, дом 2А, строение 301 а/я 4848
Сведения о территориально обособленных подразделениях (филиалах)	нет
ОГРН	1156313020335 от 9 июня 2015 г.
ОКПО	43871107
ИНН	6324061822

Продолжение таблицы 7

1	2
ИНН	6324061822
КПП	632401001
Телефон	(8482) 50-20-33
Электронная почта	EcoResursP2017@yandex.ru
Руководитель предприятия (должность, Ф.И.О.)	Директор Трёшников Сергей Евгеньевич
ИНН	6324061822

В таблице 8 представлены оказываемые услуги предприятия ООО «ЭкоРесурсПоволжье».

Таблица 8 – Оказываемые услуги предприятия

№	Услуги
1	Обработка твердых коммунальных отходов.
2	Сбор и транспортировка отходов.
3	Предоставление в аренду специализированной техники.
4	Утилизация ПЭТ-тары с получением ПЭТ-флекс, которая используется для производства полиэфирного волокна и другой продукции.
5	Утилизация полиэтиленовой плёнки с получением вторичного ПЭТ-гранулята.
6	Утилизация отработанных нефтесодержащих жидкостей, древесных отходов и отходов озеленения.
7	Утилизация строительных отходов во вторичный щебень.
8	Термическое уничтожение архивных документов.
9	Утилизация изношенных колес для производства резиновой крошки, которая используется для изготовления эластичных покрытий

Продолжение таблицы 8

№	Услуги
10	Производство полиэтиленовых пакетов и мешков для мусора.
11	Измельчение крупногабаритных отходов.
12	Оказание услуг промышленным предприятиям и населению по ликвидации аварийных ситуаций, связанных с обращением с отходами.
13	Услуги по выполнению нормативов утилизации упаковочных материалов, подлежащих утилизации после утраты потребительских свойств.
10	Производство полиэтиленовых пакетов и мешков для мусора.

1.3.1 Технологический процесс переработки полиэтилентерефталата на предприятии ООО «ЭкоРесурсПоволжье»

На предприятии ООО «ЭкоРесурсПоволжье» реализуется механическая переработка тары из ПЭТФ. В производственном цехе работает линия, которая перерабатывает ПЭТ-бутылки. Она предназначена для измельчения ПЭТ-бутылок во флексы, дальнейшего их отделения и отмывания от посторонних включений, например металла, органики, крышки и этикетки. Также ПЭТ-флексы эффективно отмываются от клея и других загрязнений, благодаря использованию в технологическом процессе горячих ванн с добавлением гидроксида натрия (NaOH).

Схема процесса переработки ПЭТФ на предприятии ООО «ЭкоРесурсПоволжье» представлена на рисунке 6.

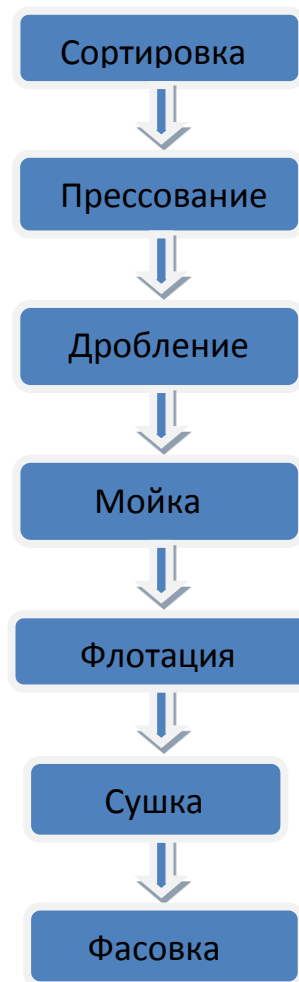


Рисунок 6 – Блок-схема процесса переработки полиэтилентерефталата на предприятии ООО «ЭкоРесурсПоволжье»

ПЭТ-бутылки поступают на предприятие ООО «ЭкоРесурсПоволжье» в составе ТКО. Сначала осуществляется выгрузка мусоровозов на бетонированную площадку, в центре которой находятся конвейера, которые в свою очередь подают отходы на сортировочные линии. На сортировочных линиях вручную отбираются ПЭТ-бутылки, которые подлежат дальнейшей переработки. Отбираемые ПЭТ-бутылки сбрасываются в приемные ячейки, расположенные внизу каждого рабочего места. Сортировка осуществляется отдельно по цветовому признаку: прозрачная, голубая, зеленая и коричневая тара. Бутылки не подлежащие дальнейшей переработке: бутылки белого цвета (являются загрязнителями для фильер, при производстве полиэфирного волокна); бутылки из под масла (загрязняют оборудование маслом).

Далее подготовленные ПЭТ-бутылки поступают на пресс, где из них формируются тюки массой до 150 кг.

Спрессованные тюки закрепленные металлической проволокой, доставляются на загрузочную площадку линии переработки ПЭТ. Далее проволока на тюках перерезается болторезом, тюки разбиваются лопатой и ПЭТ-бутылки равномерно загружаются на падающий транспортер, который в свою очередь транспортирует их в дробилку.

В дробилки происходит измельчение ПЭТ-бутылки на частицы размером 4 – 6 см, которые в свою очередь поступают в горизонтальную мойку по шнековому конвейеру, для отмывания флексы от различных загрязнений (таких как частички пыли, песка и т.д.).

Далее поступающие в двухшнековую мойку флексы, проходят процесс флотации. ПЭТ-флексы по дну транспортируются через всю ванну с помощью шнека, когда пробки, кольца, этикетки и частицы с удельной плотностью менее единицы всплывают на поверхность.

При помощи шнекового конвейера флексы поступают в горячую мойку ($t = 80 - 100\text{ }^{\circ}\text{C}$). Туда же добавляют едкий натр для того чтобы отделить клей и этикетки от флексы. Здесь происходит обеззараживание и отделение оставшихся загрязнителей. Далее флексы поступают на многостадийную мойку, включающую в себя горизонтальную мойку и три двухшнековые флотационные ванны. Этот процесс необходим для эффективной промывки флексы от натрия, также удаления остатков клея и этикетки. Здесь же осуществляется извлечение металлов из общей массы, при помощи магнитов.

Далее флексы (уже очищенные) поступают в дробилку 2, где измельчаются на более мелкие частицы, размером 0,4 – 1,4 см. После этого флексы поступают в центрифугу для удаления воды (содержание которой не должно превышать 4 %). Далее флексы из центрифуги, при помощи пневмотранспорта, перемещаются в бункер где проходит процесс их сушки посредством горячего воздуха.

Далее ПЭТ – флексы упаковываются в биг-бег, находящийся непосредственно под бункером.

В таблице 9 приведены требования к приготовлению щелочного раствора в зависимости от перерабатываемого сырья.

Таблица 9 – Приготовление рабочего раствора гидроксида натрия NaOH в зависимости от перерабатываемого сырья.

Наименование сырья	Необходимый pH рабочего раствора NaOH	Количество NaOH, пошедшее на разовую загрузку в одну мойку
ПЭТ-бутылка темная	9-10	50 кг
ПЭТ-бутылка светлая	10-12	125 кг

В таблице 10 приведены нормы технологического режима работы линии переработки ПЭТ-бутылок.

Таблица 10 – Нормы технологического режима работы линии переработки ПЭТФ

Контролируемый параметр	Норма	Частота контроля	Способ контроля
pH	ПЭТ темн. 9-10 ПЭТ светл. 10-12	8:00; 14:00 20:00; 2:00	Лакмусовая бумага
Температура горячей мойки	70-90 °C	8:00; 14:00 20:00; 2:00	Визуально на дисплее парогенератора
Температура в сушке	105-115 °C	Каждый час	Визуально на дисплее сушки

1.3.2 Проблемы при переработки полиэтилентерефталата

Наличие ПВХ. В основном для растительного масла бутылки изготавливаются из ПВХ. Также при производстве крышек используют ПВХ вкладыши. В свою очередь, ПВХ чрезвычайно вреден[9], так как способствует разложению ПЭТ в дальнейшем процессе термической переработки флекса.

Наличие металлов. Металлы разрушают дробилки, и являются причиной поломки ротора. Также частицы металла, которые смешиваются с флексом. Являются причиной поломки экструдеров, стоимость которых очень высока.

2 Совершенствование технологии получения битума с применением вторичного сырья полиэтилентерефталата

2.1 Экспериментальное получение модифицированного битума

В качестве нефтяной основы использовался дорожный битум марки БНД 50/70, а в качестве модификатора использовали переработанный вторичный продукт полиэтилентерефталата (ПЭТ-флекс) с предприятия ООО «ЭкоРесурсПоволжье».

Опыт №1.

Дано:

$$m_{\text{битума}} = 200 \text{ г.};$$

$$m_{\text{ПЭТФ}} = 6 \text{ г.};$$

$$T = 200 \text{ }^{\circ}\text{C};$$

$$t = 2 \text{ ч.}$$

Ход работы:

- 1) Взвесили 200 грамм нефтяной основы;
- 2) Взвесили 6 грамм ПЭТ – флексы;
- 3) Навеску нефтяной основы массой 200 грамм поместили в емкость объемом на 1 литр;
- 4) Разогрели на плитке с асбестовой баней емкость с нефтяной основой до 200 °С;
- 5) После достижения требуемой температуры в емкость с нефтяной основой добавили ПЭТ – флексы;
- 6) Выдерживали данную композицию 2 часа при тщательном перемешивании.

Опыт № 2.

Дано:

$$m_{\text{битума}} = 200 \text{ г.};$$

$$m_{\text{ПЭТФ}} = 6 \text{ г.};$$

$T = 250\text{ }^{\circ}\text{C};$

$T = 2\text{ ч.}$

Ход работы:

- 1) Взвесили 200 грамм нефтяной основы;
- 2) Взвесили 6 грамм ПЭТ – флексы;
- 3) Навеску нефтяной основы массой 200 грамм поместили в емкость объемом на 1 литр;
- 4) Разогрели на плитке с асбестовой баней емкость с нефтяной основой до $250\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- 5) После достижения требуемой температуры в емкость с нефтяной основой добавили ПЭТ – флексы;
- 6) Выдерживали данную композицию 2 часа при тщательном перемешивании.

Условия модифицирования полимером, а также температура размягчения полученной композиции при различном времени перемешивания гудрона и ПЭТ – флексы представлены в таблице 11.

Таблица 11 – Параметры модифицирования битума ПЭТ-флексом и характеристики полученной смеси

№ опыта	Температура модификации, $^{\circ}\text{C}$	Содержание ПЭТФ в смеси, мас. %	Время перемешивания, ч	Температура размягчения, $^{\circ}\text{C}$	Пенетрация при 25°C , 0,1мм
1	200	3,0	2	≈ 40	-
2	250	3,0	2	≈ 55	≈ 54
Требования на дорожный битум марки БНД 50/70 по ГОСТ 33133				Не менее 51	51-70

Вывод по опыту №1:

Данный опыт нам показал что, при данной температуре

полиэтилентерефталат практически не растворяется. Температура размягчения полученной композиции не входит в допустимый интервал требований на битум марки БНД 50/70.

Выводы по опыту №2:

Данный опыт нам показал что, при данной температуре, полиэтилентерефталат растворяется хорошо, но нужно увеличивать время пребывания полиэтилентерефталата в битуме. Температура размягчения полученной композиции входит в интервал требований на битум марки БНД 50/70.

Общий вывод по опытам: данная методика требует дальнейших доработок, так как ПЭТ – флексы в битуме растворяются не полностью. Но свойства полученного битума входят в интервал требований на дорожный битум марки БНД 50/70 по ГОСТ 33133.

2.2 Расчет материального баланса

Для расчета материального баланса установки получения модифицированного битума изобразим блок-схему, представленную на рисунке 7[15].



Рисунок 7 – Блок-схема получения модифицированного битума

В реакторе происходит одна реакция, в которых участвует гудрон, воздух и ПЭТ – флексы[16]:

$$G_1 + G_2 + G_3 = G_4 \quad (1)$$

где G_1 – количество гудрон на входе;

G_2 – количество воздуха на входе;

G_3 – количество ПЭТ – флексы на входе;

G_4 – количество модифицированного битума на выходе.

Мощность установки по производству $Gf = 25000$ тонн/год.

Переводим производительность установки из размерности т/год в кг/ч по формуле (2)[17].

Среднее число рабочих дней в году 220 дней:

$$G_C = G_F \cdot 10^3 / n \cdot 24, \text{ кг/ч} \quad (2)$$

где G_F – производительность по сырью, т/год;

n – число рабочих дней работы установки в году.

$$G_C = 25000 \cdot 1000 / 220 \cdot 24 = 4734,8 \text{ кг/ч}$$

Выход готового продукта G_B , кг/ч[18]:

$$G_B = B_B \cdot G_C / 100, \text{ кг/ч} \quad (3)$$

где B_B – выход битума на сырье, % масс;

G_C – производительность установки, кг/ч.

$$G_B = 97,232 \cdot 4734,8 + 185,5 / 100 = 4789,1 \text{ кг/ч}$$

Общий расход воздуха $G_{\text{возд}}$, кг/ч:

$$G_{\text{возд}} = X_{\text{возд}} \cdot G_C / 100, \text{ кг/ч} \quad (4.1)$$

где $X_{\text{возд}}$ – расход воздуха, % масс;

G_C – производительность установки, кг/ч.

$$G_{\text{возд}} = g_{\text{возд}} \cdot G_C \cdot \rho_{\text{возд}} / 1000, \text{ кг/ч} \quad (4.2)$$

где $g_{\text{возд}}$ – удельный расход воздуха, м³/т сырья;

$\rho_{\text{возд}}$ – плотность воздуха, кг/м³;

G_C – производительность установки, кг/ч.

$$G_{\text{возд}} = 95 \cdot 4734,8 \cdot 1,293 / 1000 = 581,6 \text{ кг/ч}$$

$$G_{N2} = G_{\text{возд}} \cdot 0,77, \text{ кг/ч} \quad (5)$$

где $G_{\text{возд}}$ – общий расход воздуха, кг/ч.

$$G_{N2} = 581,8 \cdot 0,77 = 447,8 \text{ кг/ч}$$

Количество кислорода G_{O_2} , кг/ч, рассчитывается по уравнению:

$$G_{O_2} = G_{\text{возд}} \cdot 0,23, \text{ кг/ч} \quad (6)$$

где $G_{\text{возд}}$ – общий расход воздуха, кг/ч.

$$G_{O_2} = 581,8 \cdot 0,23 = 133,8 \text{ кг/ч}$$

Количество остаточного кислорода в газах окисления G'_{O_2} , кг/ч:

$$G'_{O_2} = G_{\text{возд}} \cdot 0,05, \text{ кг/ч} \quad (7)$$

$$G'_{O_2} = 581,6 \cdot 0,05 = 29,1 \text{ кг/ч}$$

Количество израсходованного кислорода G''_{O_2} , рассчитывается по уравнению[19]:

$$G''_{O_2} = G_{O_2} - G'_{O_2}, \text{ кг/ч} \quad (8)$$

$$G''_{O_2} = 133,8 - 29,1 = 104,7 \text{ кг/ч}$$

$$G_{CO_2} = 0,3 \cdot G''_{O_2} \cdot M_{CO_2} / M_{O_2}, \text{ кг/ч} \quad (9)$$

где M_{CO_2} и M_{O_2} – молекулярные массы диоксида углерода и кислорода соответственно, г/моль;

G''_{O_2} – количество израсходованного кислорода, кг/ч.

$$G_{CO_2} = 0,3 \cdot 104,7 \cdot 44 / 32 = 43,2 \text{ кг/ч}$$

Количество образующийся воды, кг/ч:

$$G_{H_2O} = 0,65 \cdot G''_{O_2} \cdot M_{H_2O} / M_{O_2}, \text{ кг/ч} \quad (10)$$

где M_{H_2O} и M_{O_2} – молекулярные массы воды и молекулярная масса кислорода в молекуле воды соответственно, г/моль;

G''_{O_2} – количество израсходованного кислорода, кг/ч.

$$G_{H_2O} = 0,65 \cdot 104,7 \cdot 18 / 16 = 76,6 \text{ кг/ч}$$

Количество гидрона, пошедшие на образование CO_2 и H_2O , кг/ч, рассчитывается по уравнению:

$$G_{\Gamma} = (G_{CO_2} - 0,3 \cdot G''_{O_2}) + (G_{H_2O} - 0,65 \cdot G''_{O_2}), \text{ кг/ч} \quad (11)$$

$$G_{\Gamma} = (43,2 - 0,3 \cdot 104,7) + (76,6 - 0,65 \cdot 104,7) = 20,28 \text{ кг/ч}$$

что составляет $20,28 / 4734,8 \cdot 100 = 0,4 \%$ масс.от сырья.

Количество углеводородных газов, образующихся в процессе, принимается равным 1,5 % масс.от сырья:

$$G_{y,\Gamma} = G_C \cdot 1,5 / 100, \text{ кг/ч} \quad (12)$$

где G_C – производительность установки, кг/ч.

$$G_{y,\Gamma} = 4734,8 \cdot 1,5 / 100 = 71,0 \text{ кг/ч}$$

Производим расчет жидких продуктов в составе отгона с учетом соблюдения материального баланса.

Составляем материальный баланс по произведенным расчетам, который представлен в таблице 12.

Таблица 12 – Материальный баланс колонны окисления

Приход	% масс.	кг/ч	Расход	% масс.	кг/ч
Гудрон	85,74	4734,8	Битум модифицированный дорожный	86,6	4789,1
Воздух	10,9	581,6	Азот	8,4	447,8
ПЭТ – флекс	3,36	185,5	Кислород	0,5	29,1
			Углекислый газ	0,8	43,2
			Водяные пары	1,4	76,6
			Углеводородные газы	1,3	71,0
			Отгон (соляр)	0,8	45,1
Всего:	100	5501,9		100	5501,9

2.1 Энергетический баланс

Приход тепла:

Тепло с сырьем определяем по формуле 13 [15].

$$Q_C = G_C \cdot t_r \cdot c_r, \text{ кДж/ч} \quad (13)$$

где G_C – производительность установки, кг/ч;

t_r – температура сырья на входе в колонну, °С;

c_r – теплоемкость гудрона, кДж/(кг · К).

$$Q_C = 4734,8 \cdot t_r \cdot 2,1 = 9943,1 \cdot t_r, \text{ кДж/ч}$$

Тепло, выделяющееся при окислении гудрона:

$$Q_P = G_C \cdot I_P, \text{ кДж/ч}, \quad (14)$$

где I_P – тепловой эффект реакции окисления битума, кДж/кг. $I = 235$ кДж/кг

$$Q_P = 4734,8 \cdot 235 = 1112678,0 \text{ кДж/ч}$$

Вычисляем тепло с воздухом на окисление:

$$Q_{\text{возд}} = G_{\text{возд}} \cdot t_{\text{возд}} \cdot C_{p\text{возд}}, \text{ кДж/ч}, \quad (15)$$

где $G_{\text{возд}}$ – общий расход воздуха, кг/ч;

$t_{\text{возд}}$ – температура сжатого воздуха, принимаем равной 60°C ;

$C_{p\text{возд}}$ – теплоемкость воздуха, принимаем равной $1,009 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$.

$$Q_{\text{возд}} = 581,6 \cdot 60 \cdot 1,009 = 35210,1 \text{ кДж/ч}$$

Всего приход тепла:

$$Q_{\text{приход}} = Q_C + Q_P + Q_{\text{возд}}, \text{ кДж/ч}, \quad (16)$$

где Q_C – тепло вносимое с сырьем, кДж/ч;

Q_P – тепло, выделяющиеся при окислении гудрона, кДж/ч;

$Q_{\text{возд}}$ – тепло с воздухом на окисление, кДж/ч.

$$Q_{\text{приход}} = 9943,1 \cdot t_r + 1112678,0 + 35210,1 \text{ кДж/ч}$$

$$Q_{\text{приход}} = 9943,1 \cdot t_r + 1147888,1 \text{ кДж/ч}$$

Расход тепла:

Вычисляем расход тепла с битумом по формуле 17 [11].

$$Q_6 = G_6 \cdot t \cdot c_6, \text{ кДж/ч}, \quad (17)$$

где G_6 – выход готового продукта, кг/ч;

t – температура процесса окисления, $^\circ\text{C}$;

c_6 – теплоемкость битума, кДж/(кг · К).

$$Q_6 = 4603,7 \cdot 2,0 \cdot 250 = 2301850,0 \text{ кДж/ч}$$

Вычислим расход тепла с газами окисления и с отгонами:

$$Q_{\text{г.о}} = \sum G_i \cdot c_i \cdot t, \text{ кДж/ч} \quad (20)$$

где G_i – количество отдельных составляющих газов окисления, кг/ч;
 c_i – теплоемкость отдельных составляющих газов окисления, кДж/(кг·К);

t – температура процесса окисления, °С.

$$Q_{г.о} = (447,8 + 29,1 + 43,2 + 76,6 + 71,0 + 45,1) \cdot 1,3938 \cdot 250 = 248375,2 \text{ кДж/ч}$$

Потери тепла в окружающую среду принимаем 6 % от тепла, приходящего в колонну, то есть:

$$Q_{ок.ср.} = 0,05 \cdot (9943,1 \cdot t_r + 1147888,1) = 497,2 \cdot t_r + 57394,4 \text{ кДж/кг}$$

Всего расход тепла составляет:

$$Q_{расх} = Q_B + Q_{г.о} + Q_{пот} \text{ кДж/ч} \quad (21)$$

где Q_B – расход тепла с битумом, кДж/ч;

$Q_{г.о}$ – расход тепла с газами окисления и отгоном, кДж/ч;

$Q_{пот}$ – потери тепла в окружающую среду, кДж/кг.

$$Q_{расх} = 2301850,0 + 248375,2 + 57394,4 + 497,2 \cdot t_r \text{ кДж/ч}$$

$$Q_{расх} = 2607619,6 + 497,2 \cdot t_r \text{ кДж/ч}$$

Определим температуру сырья на входе в колонну (t_r):

$$1147888,1 + 9943,08 \cdot t_r = 2607619,6 + 497,2 \cdot t_6,$$

где t_6 – температура сырья на выходе, °С.

Зная температуру сырья на выходе, определим температуру сырья на входе:

$$1147888,1 + 9943,08 \cdot t_r = 2607619,6 + 497,2 \cdot 250$$

$$1147888,1 + 9943,08 \cdot t_r = 2731907$$

$$t_r = 2731907 - 1147888,1 / 9943,08 = 159,3 \text{ °С}$$

Зная температуру сырья на входе в колонну, определяем истинные значения прихода и расхода тепла.

Общий расход тепла:

$$Q_{расх} = 2607619,6 + 497,2 \cdot 159,3 = 2731907,06 \text{ кДж/кг}$$

Общий приход тепла:

$$Q_{прих} = 1147888,1 + 9943,08 \cdot 250 = 2731907,06 \text{ кДж/кг}$$

$$Q_{\text{РАСХ}} = Q_{\text{ПРИХ}}$$

Потери теплоты находятся в допустимых пределах и не превышают 10 %.

2.3 Совершенствование технологического процесса получения окислительного битума за счет его модификации полиэтилентерефталатом

Гудрон нагретый до 250°C с помощью насоса поступает в реактор. Одновременно с ним в реактор поступают ПЭТФ – флексы так же с помощью насоса. Снизу в реактор поступает нагретый воздух с температурой 60 °С. Реактор оснащен лопастой мешалкой для тщательного перемешивания. После нужного временного промежутка модифицированный битум с помощью насоса поступает в место остывания. Газообразные продукты окисления попадают в адсорбент для дальнейшего использования.

На рисунке 8 представлена схема получения модифицированного битума[20].

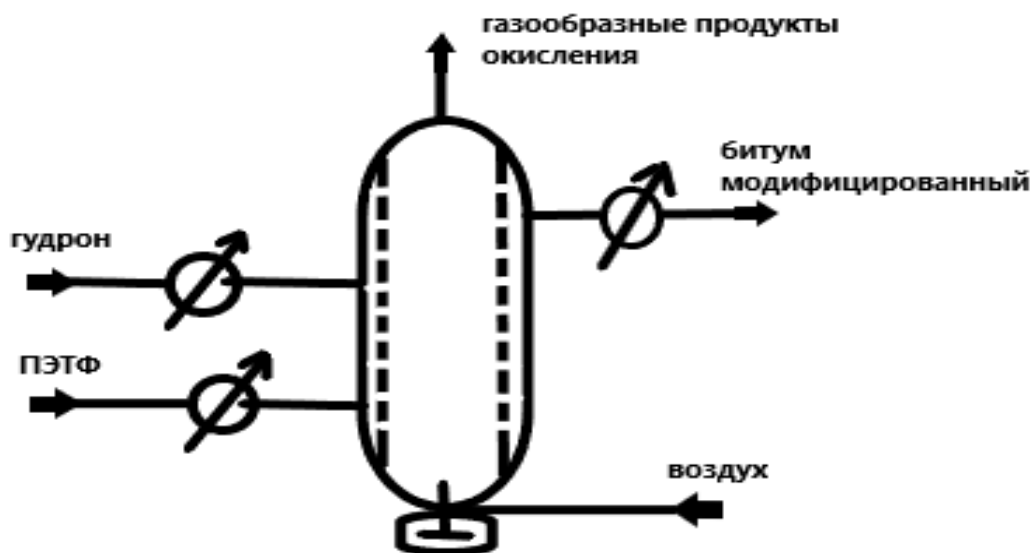


Рисунок 8 – Схема получения модифицированного битума

2.4 Анализ преимуществ предлагаемой технологии

Единой схемы процесса получения модифицированного битума окислительным способом не существует.

При выборе метода и схемы получения битума влияют различные факторы:

1. Качество сырья;
2. Конверсия битума;
3. Селективность нефтеных остатков в битуме;
4. Удобство эксплуатации;
5. Качество готовой продукции;
6. Вспомогательные материалы и побочные продукты.

Основным критерием при выборе метода и схемы получения битума является технико-экономические расчеты.

Существующая технологическая схема получения битума, при окислении гудрона воздухом, которая является самой экономичной и широко используемой. При использовании различных модификаторов можно достичь более высокие качества и свойства битума, а так же его выход. Преимущества битума произведенным по технологии окисления гудрона воздухом: экономическая выгода предприятий; более простой и легко обслуживаемый процесс получения конечной продукции.

Но окислительный битум в качестве добавки к асфальтобетону имеет существенный минус – при относительно высокой плюсовой температуре он размягчается и теряет свою форму, вследствие чего образуются ямы на дорожном покрытии, а при относительно низкой температуре с попаданием влаги появляются трещины в дорожном полотне. По этой причине Российская Федерация и зарубежные страны проектируют и формируют процессы получения модифицированного битума, с полимерными модификаторами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведения бакалаврской работы осуществлен теоретический анализ получения дорожных битумов. Так же, произведен анализ технологической схемы переработки полиэтилентерефталата на предприятии ООО «ЭкоРесурсПоволжье».

Экспериментально определена оптимальная методика модифицирования дорожного битума вторичным сырьем полиэтилентерефталата. Полученный модифицированный битум имеет свойства которые входят в интервал требований на дорожный битум марки БНД 50/70 по ГОСТ 33133.

Предложена схема технологического процесса получения окислительного битума за счет его модификации полиэтилентерефталатом.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Пат. 2412223 Российская Федерация, МПК C08L 95/00. Полимерно-битумный вяжущий материал и способ его получения /Кремницкая Е. В., Горячев М. В., Игошин Ю. Г., Короницын А. Ю.; заявитель и патентообладатель Закрытое акционерное общество «ТехноНИКОЛЬ»-№ 2009112874/04; заявл. 08.04.2009; опубл. 20.02.2011.
2. Пат. 2138459 Российская федерация, МПК C04B 26/00. Полимерно-битумная композиция / Воротников Б. Ю., Корниецкий А. Е., Корниецкий Ю. А., Почечура В. Н.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Калининградский государственный технический университет»-№ 2012156082/03; заявл. 24.12.2012; опубл. 10.08.2014.
3. Хойдберг, А. Д. Битумные материалы Асфальтены, смолы, пеки. Москва. : Химия, 1974. – 247с.
4. Дияров, И. Н. Химия нефти. Липецк. : Химия, 1990. – 240с.
5. Посадов И. А. Электронномикроскопическое исследование нефтяных асфальтенов. Москва. : Журнал прикладной химии, - 1999. - №3. – С. 204-218.
6. Захаров, Д. Б., Вахтинская Т. Н., Аренина С. В., Прудскова Т. Н., Андреева Т. И. Переработка вторичного ПЭТФ. Самара. : Пластические массы. – 2013. - № 3. – С. 40-42.
7. Любешкина, Е. Г. Вторичное использование полимерных материалов. Москва. : Химия, 2015. – С. 81-96.
8. Николаев, А. Ф. Межмолекулярные взаимодействия в полимерах. Москва. : Химия, 2017. – 53с.
9. Каминский, Э. Ф. Глубокая переработка нефти: технологический и экологический аспекты. Москва. : Техника, 2016. – 384с.

10. Бодан, А. Н. Изучение структуры нефтепродуктов на примере битумов рентгеновскими методами. Москва. : Нефтепереработка и нефтехимия, 1995. – 114с.
11. Becker Y., Mendez M., Rodriguez Y. Polymer modified asphalt. Elsevier. : Vision technol, 2001. – 50s.
12. Lexington A., Kentucky M. The bitumen industry – a global perspective. Belgium. : Eurobitume, 2011. – 146s.
13. Гунн, Р. Б. Нефтяные битумы. Москва. : Химия, 2001. – 432с.
14. Матвейчук, А. А. Истоки российской нефти. Москва. : Древлехранилище, 2015. – 416 с.
15. Строганов, Л. В. Газы и нефти ранней генерации Западной Сибири. Москва. : Недра, 2010. – 315с.
16. Chen J., Liao M., Tsai H. Evaluation and optimization of the engineering properties of polymer-modified asphalt. Endland. : Evaluation, 2000. – 101s.
17. Проскурякова, В. А., Драбкина А. Е. Химия нефти и газа. Москва. : Химия, 1974. – 247с.
18. Унгер, Ф. Г. Фундаментальные аспекты химии нефти. Новосибирск. : Наука, 1995. – 192с.
19. Dennind J., Carswell H. Assessment of Novophalt as a binder for rolled asphalt wearing course. England. : Transport and road research laboratory, 2005. – 100s.
20. Mouillet V., Lamontagne J., Durrieu F., Planche P., Lapalu L. Infrared microscopy investigation of oxidante and phase evolution in bitumen modified with polymers. Belgium. : Microscopy, 2008. – 126s.