

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования «Российский химико-технологический университет  
имени Д.И. Менделеева»**

На правах рукописи



**Джабаров Георгий Викторович**

**Научные основы переработки твердых отходов полиэфиров**

2.6.10 – Технология органических веществ

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание учёной степени

кандидата химических наук

Москва – 2022

Работа выполнена на кафедре химической технологии основного органического и нефтехимического синтеза ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева».

Научный руководитель: Доктор химических наук, профессор  
**Сапунов Валентин Николаевич**,  
профессор кафедры химической технологии  
основного органического и нефтехимического синтеза  
ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический  
университет имени Д. И. Менделеева»

Официальные оппоненты: Доктор химических наук, профессор  
**Бухаркина Татьяна Владимировна**,  
профессор кафедры химической технологии углеродных  
материалов ФГБОУ ВО «Российский химико-  
технологический университет имени Д. И. Менделеева»

Доктор химических наук, профессор  
**Зотов Юрий Львович**,  
профессор кафедры технологии органического и  
нефтехимического синтеза ФГБОУ ВО «Волгоградский  
государственный технический университет»

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования «Самарский  
государственный технический университет»

Защита состоится «17» июня 2022 г. в 11:00 на заседании диссертационного совета 2.6.01  
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего  
образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева»  
(125047 Москва, Миусская пл., д. 9) в аудитории 443 (конференц-зал).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-библиотечном центре и на сайте  
[https://www.muctr.ru/university/departments/ods/inhouse/inhouse\\_announcements/](https://www.muctr.ru/university/departments/ods/inhouse/inhouse_announcements/)  
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего  
образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева».

Автореферат диссертации разослан « \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2022 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета РХТУ 2.6.01  
к.х.н.



М.С. Воронов

## Общая характеристика работы

**Актуальность работы.** Полиэтилентерефталат (ПЭТ) является одним из самых распространенных полимерных материалов в мире. Основными направлениями его использования являются пищевая (тара для напитков) и текстильная (полиэфирные волокна) промышленность. Благодаря своему строению, подобные материалы отличаются высокой химической стойкостью и практически не поддаются разложению в окружающей среде. В результате тысячи тонн отработанного ПЭТ образуют рукотворные острова в морях и океанах, либо рукотворные горы мусора, которые под действием условий окружающей среды не разлагаются, а физически измельчаются с образованием микропластика, проникающего в почву, ледники и водоносные слои, а оттуда в организм человека и животных. Для решения этой проблемы во многих странах ведутся разработки использования отработанного ПЭТ в качестве сырья для производства ценных химических веществ или материалов. Существует несколько основных направлений утилизации ПЭТ: физико-механическая, термическая и химическая. Ввиду относительной простоты наиболее широкое распространение получили механические методы переработки, которые, однако ухудшают свойства вторичного полимера, что существенно уменьшает количество доступных областей применения подобных материалов. В то же время химическая переработка отходов ПЭТ позволяет получать чистые химические соединения различного строения, которые могут использоваться для производства полимеров с требуемыми свойствами.

Таким образом, *актуальность настоящей работы* уже подчёркивается в самом названии работы – **«Научные основы переработки твердых отходов полиэфиров»**

Отличием деполимеризации отходов ПЭТ соединениями калия в среде полиолов является возможность проведения процесса в относительно мягких условиях (при атмосферном давлении) и без использования дорогостоящих катализаторов, чувствительных к посторонним примесям. Кроме того, за счет использования полиолов различного строения становится возможным регулировать структуру образующихся продуктов. Особенностью настоящего исследования является то, что его проводили с использованием другого трудно регенерируемого вторичного продукта – это так называемый «глицерин сырец», отход

основно-каталитического производства метиловых эфиров жирных кислот. В этом «глицерине-сырце» находится большое количество калиевых солей растительных жирных кислот, которые оказались хорошими деполимеризующими твердые отходы ПЭТ агентами. Использование глицерина-сырца в процессах деполимеризации полиэфирных отходов также представляет теоретический и практический интерес с точки зрения экологии, эффективного использования ресурсов и создания энергосберегающих технологий.

**Степень разработанности.** В литературных данных описаны методы деполимеризации ПЭТ как различными основаниями, так и различными полиолами. Однако, математические описания подобных процессов не учитывают особенности слоистой структуры ПЭТ. Кроме того, отсутствуют данные об использовании в качестве деполимеризующего агента глицерина-сырца.

**Цель работы** – разработка эффективного метода деполимеризации твердых отходов ПЭТ глицерином-сырцом с получением олигомеров с регулируемым строением.

**Научная новизна диссертационного исследования** заключается в разработке способа утилизации отходов ПЭТ глицерином, а также аналитических методик, позволяющих регулировать глубину превращения пластиковых отходов, а также строение и молекулярную массу образующихся олигомерных продуктов. Кроме того, впервые было предложено математическое описание основных физико-химических закономерностей деполимеризации ПЭТ с учетом образования калиевых интеркалатов между внутренними слоями полиэфира.

#### **Теоретическая значимость**

1. Установлена схема деструкции отработанного ПЭТ и охарактеризован состав и строение образующихся низкомолекулярных продуктов. При повышении мольного соотношения ПЭТ/ $K^+$  наблюдается увеличение молекулярной массы продуктов, а также появление в их структуре гидроксильных групп.

2. Предложена математическая модель процесса деполимеризации ПЭТ щелочными омыляющими агентами в среде полиолов различного строения.

### **Практическая значимость**

1. Установлена взаимосвязь между степенью превращения твердых флексов ПЭТ, типом омыляющего агента и условиями проведения деполимеризации полиэфира (температура, тип используемого растворителя, количество омыляющего агента, время проведения процесса). На основании полученных данных определены оптимальные условия деполимеризации ПЭТ, при которых достигается максимальная степень разложения ПЭТ - 100%.

2. Доказано, что процесс является нечувствительным к присутствию в реакционной массе посторонних примесей (красители, полипропилен).

3. Полученные в рамках данной работы результаты и установленные закономерности между условиями проведения деполимеризации ПЭТ и составом получаемых низкомолекулярных продуктов могут стать основой для создания технологии получения новых полимерных материалов.

Подтверждением практической значимости работы является получение патентов Российской Федерации на изобретение RU 2631112 «Способ получения пластичной кальциевой смазки» и RU 2754972 «Способ переработки отходов полиэтилентерефталата».

**Методы исследования.** В качестве методов исследования использовались: потенциометрическое титрование, ИК-спектроскопия, спектроскопия ядерно-магнитного резонанса, оптическая микроскопия.. Предложенная схема протекающих реакций была подтверждена путем математического моделирования процесса.

#### **На защиту выносятся следующие положения:**

1. Основные закономерности омыления различных отходов ПЭТ щелочными реагентами в периодических условиях в среде различных полиолов и выявленные параметры проведения процесса, обеспечивающие максимальную конверсию полиэфирных отходов и целевой состав низкомолекулярных продуктов.

2. Основные закономерности протекания деполимеризации отходов ПЭТ в присутствии посторонних примесей - красителей и других пластиков (полиолефинов).

3. Определение состава и строения получаемых олигомерных продуктов.

4. Математическая модель, описывающая данные процессы, и ее основные параметры.

**Достоверность результатов.** Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, обоснованы анализом экспериментальных данных. Достоверность результатов проведенных исследований подтверждается использованием современных приборов исследования физико-химическими методами. Обработка результатов экспериментов проведена с помощью современных информационных средств и программ.

**Апробация работы.** Основные результаты исследования обсуждались на 12 конференциях и конгрессах: 73-я Международная молодежная научная конференция «Нефть и газ – 2019», РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, Москва, 22-25 апреля 2019; Международный симпозиум по зеленой химии "International Symposium on Green Chemistry-2019", Ла Рошель (Франция), 13 - 16 мая, 2019; XXI Mendeleev Congress on General and Applied Chemistry, Saint Petersburg, 9-13 сентября 2019; 74-я Международная молодежная научная конференция «Нефть и газ – 2020», РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, Москва, 28 сентября- 02 октября 2020 ; Международный молодежный научный форум «ЛОМОНОСОВ-2020», МГУ им. Ломоносова, Москва, 10-27 ноября 2020; Международный Конгресс молодых ученых по химии и химической технологии "МКХТ-2020", РХТУ им. Д.И. Менделеева, Москва, 2020; 75-я Международная молодежная научная конференция «Нефть и газ – 2021», РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, Москва, 26-30 апреля 2021; Международный молодежный научный форум «ЛОМОНОСОВ-2021», МГУ им. Ломоносова, Москва, 12-23 апреля 2021; 3rd International Scientific Conference “Sustainable and Efficient Use of Energy, Water and Natural Resources”, Saint-Petersburg, 19-24 April 2021; XXIV International Conference on Chemical Reactors (CHEMREACTOR-24), Milan (Italy) 12-17 сентября 2021; XII Российская конференция «Актуальные проблемы нефтехимии» (с международным участием), г.Грозный, 5–9 октября 2021; V-го Конгресс с международным участием и научно-техническая конференция молодых ученых «Фундаментальные исследования и прикладные разработки процессов переработки и утилизации техногенных образований», Екатеринбург, 23-26 ноября 2021.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках

научного проекта № 18-29-24009.

**Публикации.** Автором опубликовано 4 научных статьи по теме диссертационного исследования, из которых 1 статья в журнале из перечня, рекомендуемого ВАК, и 3 статьи в журналах, входящих в реферативную базу Scopus; 14 тезисов докладов научных конференций и 2 патента на изобретение.

**Объем и структура диссертации.** Диссертационная работа изложена на 148 страницах машинописного текста, содержит 68 рисунков, 20 таблиц и библиографию из 146 наименований. Диссертация состоит из введения, обзора литературы (глава 1), экспериментальной части (глава 2), результатов и их обсуждения (глава 3), заключения, списка сокращений и обозначений, а также списка цитируемой литературы.

### **Основное содержание работы**

**Во введении** обоснована актуальность, сформулирована основная цель работы, показаны научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы.

**В первой главе** приведен обзор научной литературы, посвященной способам утилизации отходов ПЭТ. Рассмотрены особенности строения самого полимера и материалов на его основе, а также различные методы переработки отходов ПЭТ. Кроме того, проанализированы достоинства и недостатки каждого метода и пути использования образующихся продуктов.

**Во второй главе** приведены характеристики исходных веществ и вспомогательных материалов, а также методики проведения экспериментальных исследований и анализа реакционной массы.

В качестве исходных веществ использовали чистые этиленгликоль, глицерин, гидроксид и стеарат калия, а также глицерин-сырец, полученный при производстве МЭЖК. Демполимеризацию проводили в трехгорлом стеклянном реакторе, оснащенный мешалкой, термопарой и холодильником.

Анализ реакционной смеси производили с помощью потенциометрического

титрования и инструментальных физико-химических методов анализа: газо-жидкостная хроматография, хромато-масс-спектрометрия, инфракрасная спектроскопия (ИК) и  $C^{13}$ -ЯМР спектроскопия, оптическая микроскопия и дифференциально-сканирующая калориметрия.

**В третьей главе** изучены основные структурные и кинетические закономерности процесса деполимеризации отходов ПЭТ щелочными агентами в полиолах различного строения, охарактеризован состав и строение образующихся продуктов в зависимости от условий процесса. Предложены основные направления протекания реакций химической деструкции полиэфира и приведено разработанное математическое описание.

**В разделе 3.1** сообщается об основных закономерностях протекания щелочного гликолиза ПЭТ, изучение которых проводили путем анализа изменения количества полиэфира и соединений калия, участвующих в реакции. Было установлено, что изучаемые процессы нечувствительны к присутствию в реакционной массе посторонних примесей (красителей и полимеров). В настоящей работе выяснили, что по мере расходования аморфной части твердых флексов ПЭТ поверхность контакта фаз увеличивается, что приводит к ускорению растворения полиэфира. Кроме того, было установлено, что характер протекания процесса и глубина процесса деполимеризации существенно зависят от типа используемого полиола и соединения калия: при  $170^{\circ}C$  в этиленгликоле происходит быстрое растворения твердых частиц ПЭТ с дальнейшим выводом ионов калия из жидкой реакционной массы в виде терефталата калия (рисунок 1А); при  $170^{\circ}C$  в чистом глицерине вследствие худшей растворимости пластика, наоборот, сначала наблюдается поглощение растворенных ионов калия флексами ПЭТ, и только затем их растворение с образованием жидких олигомеров (рисунок 1Б). Закономерности процессов в чистых полиолах при применении стеарата калия идентичны закономерностям при использовании гидроксида, однако характеризуются более низкой скоростью растворения ПЭТ. Глицерин-сырец хоть и проигрывает по своей эффективности этиленгликолю, значительно превосходит чистый глицерин, что выражается в значительной степени растворения полиэфира уже при  $170^{\circ}C$

(рисунок 1В).

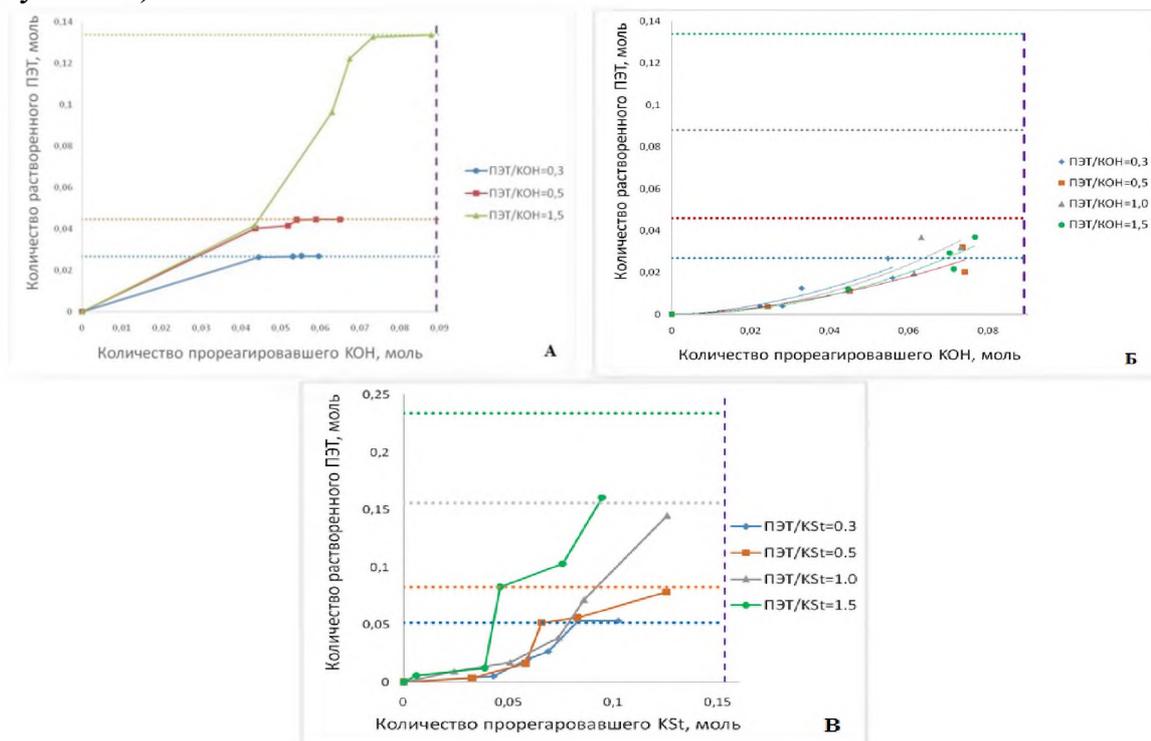


Рисунок 1 - Корреляция расходов ионов калия и количества растворенного ПЭТ для различных начальных соотношений эквивалентов ПЭТ и КОН при проведении реакции в этиленгликоле (А), чистом глицерине (Б) и глицерине-сырце (В) при 170°С. Вертикальная линия - суммарное количество ионов калия, горизонтальные линии - суммарное количество ПЭТ для каждой серии опытов, точки слева направо соответствовали увеличению времени реакции от 10 до 300 минут

В данной работе установили, что состав и строение образующихся продуктов также зависит от типа полиола и омыляющего агента: при деполимеризации ПЭТ при 170°С в чистом глицерине ввиду низкой конверсии полиэфира основным продуктом является дикалийтерефталат, как при использовании стеарата, так и гидроксида калия. При увеличении температуры процесса до 190°С основными продуктами процесса являются жидкие монокальциевые олигомеры терефталевой кислоты и этиленгликоля, которые остаются в реакционной массе. При использовании деполимеризации ПЭТ как гидроксидом, так и стеаратом калия в этиленгликоле при увеличении начального мольного соотношения ПЭТ/К<sup>+</sup> наблюдается увеличение молекулярной массы образующихся низкомолекулярных продуктов (рисунок 2А), за счет увеличения доли высокомолекулярных фрагментов ПЭТ. Аналогично происходит увеличение молекулярной массы продуктов при деполимеризации ПЭТ в глицерине-сырце,

причем при 170°C рост молекулярной массы олигомеров, принятой на эквивалент калия, при повышении молярного соотношения ПЭТ/KSt имеет более ярко выраженный характер, чем при 190°C (рисунок 2Б).

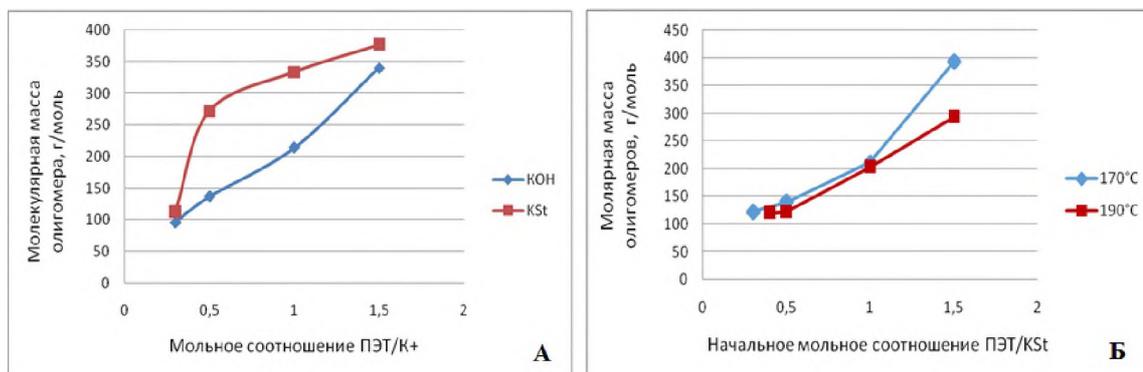


Рисунок 2 - Молекулярный масса олигомеров, полученных после 200 минут деполимеризации ПЭТ в этиленгликоле (А) и в глицерине-сырце (Б), на один эквивалент калия

В разделе 3.2 представлены результаты исследования кинетических закономерностей щелочного гликолиза ПЭТ. Доказано, что процесс деполимеризации представляет собой ряд последовательных реакций распада полиэфирных цепей под действием щелочных агентов (рисунок 3). На первом этапе происходит образование стабильных интеркалатов за счет проникновения части соединений калия внутрь слоистой структуры ПЭТ и высокомолекулярных полупродуктов за счет взаимодействия соединений калия с внешней поверхностью ПЭТ. При использовании гидроксида калия за счет меньших размеров и молекулярной массы последнего процесс в большей степени протекает через образование интеркалатов, в то время как в случае стеарата калия преобладает взаимодействие через внешнюю поверхность. При высоких молярных соотношениях ПЭТ/K<sup>+</sup> начинает протекать реакция гликолиза ПЭТ этиленгликолем, который образуется *in situ* либо непосредственно при образовании дикалийтерефталата (при использовании гидроксида калия) (рисунок 3А) либо в две стадии через переэтерификацию образующихся эфиров стеариновой кислоты и этиленгликоля с глицерином (при использовании стеарата калия) (рисунок 3Б).

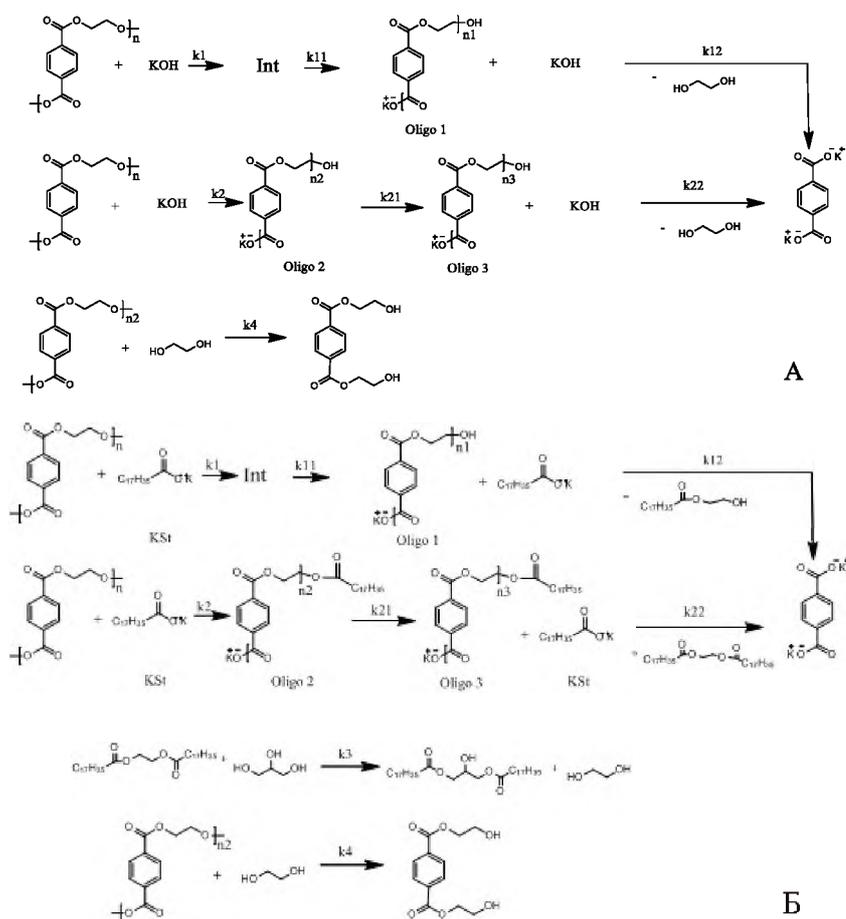


Рисунок 3 - Схема деполимеризации ПЭТ гидроксидом (А) и стеаратом калия (Б)

Константы  $k_1 - k_4$  были найдены путем обработки экспериментальных данных методом наименьших квадратов для нелинейных функций с использованием в качестве исходных констант значений, рассчитанных по начальным скоростям расходования расходования ионов калия и ПЭТ. Далее была выполнена минимизация квадратов отклонений расчетных величин от экспериментально определяемых количеств гр-эквивалентов калия и ПЭТ в реакционной среде, что позволило получить значения констант скоростей реакций, с помощью которых возможно описать экспериментальные данные с высокой достоверностью аппроксимации ( $R^2 \geq 0,95$  для каждой корреляции).

Адекватность разработанной математической модели видна из сопоставления экспериментальных данных и расчетных кривых (рисунок 4, 5).

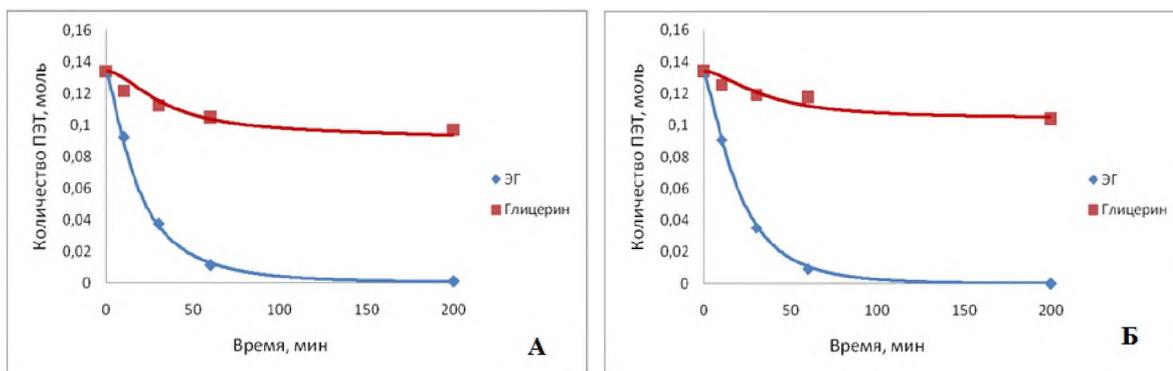


Рисунок 4 - Изменение количества ПЭТ при проведении деполимеризации в различных полиолах гидроксидом калия (А) и стеаратом калия (Б) при 170°C и начальном мольном соотношении ПЭТ/К<sup>+</sup> = 1,5

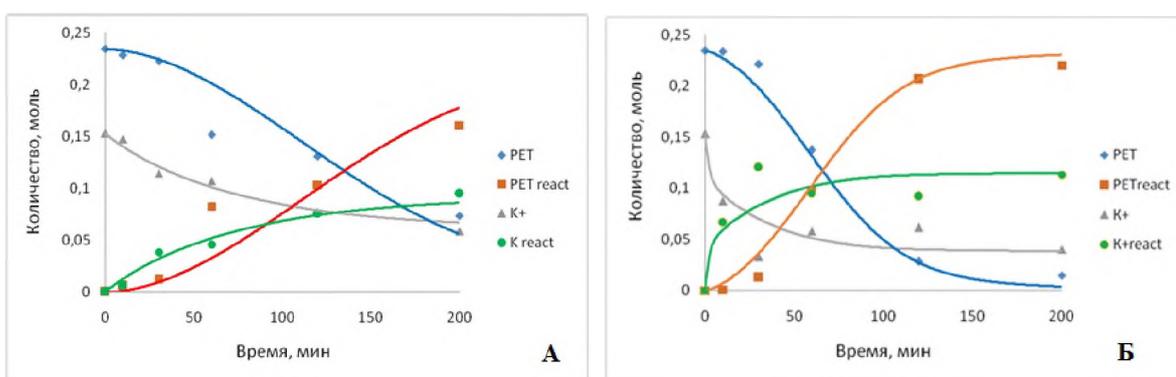


Рисунок 4 - Изменение количества ПЭТ при проведении деполимеризации в глицерине сырце при 170°C (А) и 190°C (Б) и начальном мольном соотношении ПЭТ/К<sup>+</sup> = 1,5

В разделе 3.3 представлена принципиальная технологическая схема процесса, а также материальные балансы ключевых стадий.

Исходя из результатов работы можно говорить о том, что несмотря на то, что в чистом глицерине деполимеризация ПЭТ протекает крайне медленно, глицерин-сырец за счет содержания в своем составе большого количества различных химических веществ является эффективным деполимеризующим агентом.

### Заключение

1. Установлено, что процесс деполимеризации ПЭТ в олигомеры и мономеры (дикалиевые соли терефталевой кислоты) различными соединениями калия происходит последовательно через образование высокомолекулярных (твердых) и низкомолекулярных (жидких) олигомеров, как на внешней поверхности контакта жидкой и твердой фаз, так и внутри слоистой структуры пластика;

2. Показано, что образование внутренних структур через промежуточные интеркалаты существенно зависит от способности соединений калия проникать внутрь структуры ПЭТ, т.е. скорость образования интеркалатов увеличивается с уменьшением размера молекулы соединения калия (при переходе от стерата к гидроксиду);

3. Общие закономерности омыления отходов ПЭТ в среде полиолов обусловлены поверхностным характером протекания процесса. Так, на первом этапе происходит механическое разрушение поверхности полиэфира и растворение его аморфной части, что ведет к увеличению поверхности контакта жидкой и твердой фаз, в результате при увеличении времени реакции наблюдается резкое ускорение расщепления полимерной цепи;

4. Установлено, что этиленгликоль является более реакционноспособным к взаимодействию с ПЭТ, чем глицерин. При использовании в качестве омыляющего агента калиевых мыл жирных кислот за счет реакций переэтерификации образующихся в качестве сопутствующего продукта сложных эфиров этиленгликоля и жирных кислот и глицерина происходит образование этиленгликоля *in situ*, который ускоряет разрушение полиэфирной цепи и увеличивает количество олигомерных продуктов с концевыми гидроксильными группами;

5. Показано, что молекулярная масса и структура образующихся низкомолекулярных продуктов зависит не только от типа омыляющего агента и полиола, но и от начального мольного соотношения ПЭТ / K<sup>+</sup>

6. Доказано, что сопутствующий продукт производства биодизельного топлива - глицерин-сырец является более эффективным при использовании в качестве деполимеризующего агента, чем стеарат калия в среде чистого глицерина.

7. Процесс деполимеризации ПЭТ глицерином-сырцом является нечувствительным к наличию в исходном полиэфирном сырье посторонних примесей (красителей и других полимеров), благодаря чему данный метод может использоваться как совместный метод разделения пластикового сырья и переработки отходов ПЭТ.

Представленные в работе результаты служат основой для дальнейшего более детального исследования механизма деполимеризации ПЭТ, особенно в

присутствии метиловых эфиров жирных кислот с целью получения новых мономеров для разработки новых композиционных материалов.

### Список опубликованных работ

1. Georgy V. Dzhabarov, Valentin N. Sapunov, Elena M. Makarova, et al. Production of greases from crude glycerol // *Chimica Oggi - Chemistry Today* - 2017 - vol. 35(3);
2. Georgy Dzhabarov, Valentin Sapunov, Roman Kozlovskiy, et al. A Method of Polyethylene Terephthalate Depolymerization by Biodiesel Wastes // *Pet Coal* - 2020.-Vol. 62(1) - pp. 19-26;
3. Dzhabarov, G.V., Sapunov, V.N., Shadrina, V.V. et al. A kinetic study on the depolymerization of polyethylene terephthalate waste with crude glycerol // *Chem. Pap.* - 2021 - Vol. 75(11) - pp.6035–6046;
4. Т. А. Курнешова, В. Н. Сапунов, Г. В. Джабаров [и др.]. Изучение деполимеризации отходов поликарбоната этиленгликолем // *Химическая промышленность сегодня*. – 2021. – № 2. – С. 54-61.
5. Метод совместной переработки бытовых ПЭТФ-отходов и глицерина-сырца, полученного при производстве метиловых эфиров жирных кислот (Metod of combined treatment PET waste with crude glycerol from biodiesel production) Джабаров Г.В., Фань Динь Кха, Шадрина В.В. (научный руководитель: профессор Сапунов В.Н.), 73-я Международная молодежная научная конференция «Нефть и газ – 2019»: сб. тезисов докладов: в 5 т. – М.: РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, 2019. - Т. 3. - 521 с. - С. 68-69, Москва, 22-25 апреля, 2019;
6. PET waste and crude glycerol as a feedstock for value products, Anna D. Cherepanova, Georgy V. Dzhabarov, Valentin N. Sapunov, et al., *The International Symposium on Green Chemistry, La Rochelle, May 13rd - 16th, 2019*;
7. Омыление отходов полиэтилентерефталата с помощью глицерина-сырца, Сапунов В.Н., Джабаров Г.В., Фан Динь Кха, Воронов М.С., Шадрина В.С., Коровина Н.С., XXI Менделеевский съезд по общей и прикладной химии (9–13 сентября, Санкт-Петербург). В 6 т. Т. 3.: тез. докл. – Санкт-Петербург,

2019. – 472 с. - ISBN - 978-5-6043248-4-4. - Секция 4. Энергоресурсоэффективность, экологическая безопасность и управление ри, Санкт-Петербург, 2019;

8. Изучение деполимеризации отходов поликарбоната этиленгликолем (The study of depolymerization of polycarbonate waste with ethylene glycol) Курнешова Т.А., Джабаров Г.В., Коровина Н.С. (научный руководитель: профессор Сапунов В.Н.), 74-я Международная молодежная научная конференция «Нефть и газ – 2020»: сб. тезисов докладов: в 5 т. – М.: РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, 2020. - Т. 2. - 401 с. - С. 252-253, Москва, 28 сентября- 02 октября, 2020;

9. Исследование процесса деполимеризации отходов поликарбоната этиленгликолем, Курнешова Т.А., Инюткина А.С., Джабаров Г.В., Шадрина В.В., Материалы Международного молодежного научного форума «ЛОМОНОСОВ-2020». Второе издание: переработанное и дополненное / Отв.ред. И.А. Алешковский, А.В. Андриянов, Е.А. Антипов. [Электронный ресурс] – М.: МАКС Пресс, 2020. – 1 электрон. опт. диск (DVD-ROM); 12 см. – 3000 экз;

10. Kinetic study of waste PET depolymerization by crude glycerol, Georgy V. Dzhabarov, Valentin N. Sapunov, Violetta V. Shadrina, et al., Sustainable And Efficient Use Of Energy, Water And Natural Resources (SEWAN – 2021): сборник трудов III международной научной конференции, 369 с. - сс. 176-177, Saint-Petersburg, 19-24 April 2021;

11. Исследование кинетических закономерностей деполимеризации отходов ПЭТ глицерином-сырцом, Шадрина В.В., Чан Зен Ньи, Джабаров Г.В., Материалы Международного молодежного научного форума «ЛОМОНОСОВ-2021» / Отв. ред. И.А. Алешковский, А.В. Андриянов, Е.А. Антипов, Е.И. Зимакова. [Электронный ресурс] – М.: МАКС Пресс, 2021. – 1 электрон. опт. диск (DVD-ROM); 12 см. – 2000 экз, ISBN 978-5-317-06593-5, 12-23 апреля 2021;

12. Изучение кинетики деполимеризации отходов поликарбоната этиленгликолем при катализе кислотой Льюиса (The study of the kinetics of polycarbonate waste depolymerization with ethylene glycol during Lewis acid catalysis) Курнешова Т.А., Джабаров Г.В., Инюткина А.С. (научный руководитель: профессор Сапунов В.Н.), 75-я Международная молодежная научная конференция «Нефть и газ – 2021»: сб. тезисов докладов: в 3 т. – М.: РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М.

Губкина, 2021. - Т. 2. - 567 с. - С. 256-257, Москва, 26-30 апреля 2021;

13. Исследование кинетики деполимеризации отходов ПЭТ глицерином-сырцом (Kinetic study of waste PET depolymerization by crude glycerol) Шадрина В.В., Чан Зен Ньи, Джабаров Г.В. (научный руководитель: профессор Сапунов В.Н.), 75-я Международная молодежная научная конференция «Нефть и газ – 2021»: сб. тезисов докладов: в 3 т. – М.: РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, 2021. - Т. 2. - 567 с. - С. 386-387, Москва, 26-30 апреля 2021;

14. Исследование кинетики гликолиза поликарбоната при катализе солью цинка, Курнешова Т.А., Джабаров Г.В., Инюткина А.С. Материалы Международного молодежного научного форума «ЛОМОНОСОВ-2021» / Отв. ред. И.А. Алешковский, А.В. Андриянов, Е.А. Антипов, Е.И. Зимакова. [Электронный ресурс] – М.: МАКС Пресс, 2021. – 1 электрон. опт. диск (DVD-ROM); 12 см. – 2000 экз, ISBN 978-5-317-06593-5, 12-23 апреля 2021;

15. Декарбонизация отходов пластиков на основе поликарбоната с выделением исходного мономера, Курнешова Т.А, Сапунов В.Н., Джабаров Г.В., Инюткина А.С., Коровина Н.С., Замрий А.В., Международная научно-практическая конференция «Перспективы развития энергетических систем: декарбонизация экономики, водородная энергетика»: сб. тезисов докладов: - с. 28-29, Казань, 31 августа 2021;

16. Basic regularities of glycolysis PET with KOH catalysis, Valentin N. Sapunov, Georgy V. Dzhabarov, Pavel A. Orel, et al., XXIV International Conference on Chemical Reactors (CHEMREACTOR-24) [Electronic resource] : abstracts, VP-9, 468-469., September 12 - 17, 2021 in Milan, Italy – No, 2021;

17. Исследование кинетики протекания деполимеризации ПЭТ-отходов глицерином-сырцом (Kinetic study of waste PET depolymerization by crude glycerol), Джабаров Г.В., Сапунов В.Н., Шадрина В.В., Воронов М.С., Макарова Е.М., XII Российская конференция «Актуальные проблемы нефтехимии» (с международным участием), Грозный, 5-9 октября 2021.

18. Сравнение эффективности проведения деполимеризации отходов ПЭТ калиевыми мылами в среде различных полиолов, Джабаров Г.В., Сапунов В.Н., Шадрина В.В., Орел П.А., Чан Зьем Ньи, Магорина Л.Н., Воронов М.С., Фундаментальные исследования и прикладные разработки процессов переработки и

утилизации техногенных образований: труды V Конгресса с международным участием и Конференции молодых ученых «ТЕХНОГЕН-2021». – Екатеринбург: УрО РАН, 23-26 ноября 2021 г. – 420 с. – DOI: 10.34923/technogen-ural.2021.20.31.001.

19. № 2631112 RU, Способ получения пластичной кальциевой смазки: № 2016144314: заявл. 11.11.2016: опубл. 19.09.2017 / Джабаров Г.В., Сапунов В.Н., Воронов М.С., [и др.] - заявитель: ФГБОУ ВО "Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева" (РХТУ им. Д.И. Менделеева) (RU), 2017 МКИ МПК C10M 109/02, C10M 129/08, C10M 129/40

20. № 2754972 C1 RU, МПК C08J 11/04. Способ переработки отходов полиэтилентерефталата : № 2020131493 : заявл. 24.09.2020 : опубл. 08.09.2021 / В. Н. Сапунов, М. С. Воронов, Г. В. Джабаров [и др.] ; заявитель ФГБОУ ВО "Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева".