

## **ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА**

на диссертационную работу Вохмянина Михаила Александровича «Эластомерные композиции с новыми ингредиентами на основе продуктов аминолитической деструкции полиэтилентерефталата», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.17.06 – Технология и переработка полимеров и композитов

### **Актуальность темы**

Разработка эффективных и экономически выгодных технологий утилизации отходов полимерных материалов позволяет решить задачи снижения антропогенной нагрузки на окружающую среду. Учитывая, что одним из крупнотоннажных полиэфиров, применяемым при изготовлении широкого спектра изделий бытового и промышленного назначения является полиэтилентерефталат (ПЭТ), именно его рециклинг занимает особую роль в данном направлении исследований и разработок. При этом совершенствование химических методов рециклинга ПЭТ является приоритетной задачей, т.к. обеспечивает возможность получения большого ассортимента различных ценных органических соединений.

Диссертационная работа Вохмянина М.А. посвящена решению не только актуальной проблемы разработки эффективного способа рециклинга ПЭТ, но и получению новых ингредиентов для эластомерных композиций и созданию изделий с увеличенным периодом эффективной эксплуатации.

### **Анализ содержания работы и ее завершенности**

Представленная на отзыв диссертационная работа изложена на 120 страницах машинописного текста, состоит из введения; литературного обзора, описания методов и объектов исследования, изложения основных

результатов и их обсуждения, выводов, списка сокращений и условных обозначений, списка использованных источников и приложений. Работа включает 38 рисунков, 19 таблиц, 231 наименование литературных источников, 4 приложения.

**Во введении** диссертационной работы кратко обоснована актуальность разработки новых методов рециклинга ПЭТ и применения полученного олигоэфирамида в качестве реологической добавки для эластомерных композиций на основе полярных каучуков; сформулированы цели и задачи работы, изложены научные положения и новизна, отмечена практическая значимость работы и информация об апробации результатов исследований.

**В первой главе** диссертационной работы был проведен анализ отечественной и зарубежной научно-технической и патентной литературы в области химической утилизации (деструкции) ПЭТ с получением различных целевых продуктов, которые могут быть использованы, в том числе, в качестве пластифицирующих добавок в полимерные композиции.

**Во второй главе** представлена информация о методах исследования, использованных автором для определения структуры, физических и химических свойств продуктов аминолитической деструкции ПЭТ, составы и режимы изготовления эластомерных композиций на основе бутадиен-нитрильного и хлоропренового каучуков, методы оценки реологических, вулканизационных и упруго-прочностных свойств создаваемых эластомерных композиций. Используемые в работе методы и оборудование являются современными и полностью соответствуют поставленным задачам.

Также во второй главе представлена информация об объектах исследования – продуктах аминолитической деструкции ПЭТ, ингредиентах эластомерных композиций и вспомогательных материалах.



**В третьей главе** представлены результаты экспериментов и их обсуждение.

Автором представлены результаты исследования кинетики деструкции ПЭТ при разном соотношении ПЭТ : моноэтаноламин : триэтаноламин в зависимости от температуры и времени в условиях конвективного и микроволнового нагрева. Эти данные, в сочетании с информацией по энергозатратам на нагрев реакционной массы, позволили автору определить эффективные параметры процесса аминолитической деструкции ПЭТ и предложить технологическую схему процесса аминолитической деструкции ПЭТ с получением диамида терефталевой кислоты и олигоэфирамида, представленной в автореферате и приложении А диссертационной работы.

Применение методов ИК-,  $^1\text{H}$  и  $^{13}\text{C}$  ЯМР-спектроскопии, высокоэффективной жидкостной хроматографии, дифференциально-термического и термогравиметрического анализа позволили автору экспериментально подтвердить получение диамида терефталевой кислоты и N,N'-бис-(2-гидроксиэтил)-терефталамида в результате деструкции ПЭТ.

Использование параметра растворимости в качестве критерия совместимости диамида терефталевой кислоты и полученного на его основе олигомера с эластомерной матрицей позволила автору определить области применения получаемых соединений.

Автором показана возможность применения N,N'-бис-(2-гидроксиэтил)-терефталамида и олигомера диамида терефталевой кислоты в составе эластомерных композиций на основе бутадиен-нитрильного и хлоропренового каучуков в качестве реологической добавки. Установлено ускоряющее действие диамида терефталевой кислоты на процесс серной вулканизации.

Полученные данные по всем главам автор проанализировал и обосновал с научной точки зрения. Сформулированные **выводы** по

диссертационной работе отражают научную новизну и практическую значимость выполненной диссертационной работы.

### **Научная новизна исследований.**

Автором впервые изучен процесс аминолитической деструкции ПЭТ смесью аминоспиртов при микроволновом и атмосферном давлении без применения катализаторов. Полученный автором продукт аминолитической деструкции ПЭТ использован в качестве мономера для проведения реакции гомофункциональной поликонденсации, в результате которой получен новый олигоэфирамид, содержащий в строении ароматическое кольцо, амидные группы и сложноэфирную связь. Диссертантом предложено введение диамида терефталевой кислоты и олигоэфирамида в полярные эластомерные композиции и установлено ускоряющее действие диамида терефталевой кислоты на процесс серной вулканизации резин, а также пластифицирующее действие олигоэфирамида в резинах на основе бутадиен-нитрильного каучука. Автором интерпретирован механизм снижения вязкости резиновой смеси на основе хлоропренового каучука при добавлении полученного олигоэфирамида.

**Достоверность и обоснованность результатов исследований,** представленных в диссертационной работе, подтверждается использованием различных стандартных и современных средств и методик исследований и анализом установленных свойств изучаемых эластомерных материалов.

### **Практическая значимость диссертационной работы**

На основании проведенных исследований разработана технологическая схема процесса аминолитической деструкции ПЭТ с получением диамида терефталевой кислоты и олигоэфирамида, а также представлена возможность их использования в качестве реологической



добавки эластомерных композиций на основе бутадиен-нитрильного и хлоропренового каучуков.

Изделия на основе эластомерных композиций, содержащих продукты аминолитической деструкции полиэтилентерефталата, прошли успешную апробацию АО «Чайковский завод РТД» (г. Чайковский, Пермский край) и ООО «РЭМ Синтез» (г. Киров).

### **Рекомендации по практическому использованию результатов работы и выводов**

Предложенная автором технологическая схема процесса аминолитической деструкции ПЭТ с получением диамида терефталевой кислоты и олигоэфирамида, может быть интересна и практически реализуема региональным переработчикам вторичных полимерных материалов.

Результаты проведенных исследований, в части применения продуктов аминолитической деструкции ПЭТ, могут быть использованы в организациях, специализирующихся на фундаментальных и прикладных исследованиях эластомерных материалов, например, в ООО «Научно-исследовательский институт эластомерных материалов и изделий», АО «Научно-исследовательский институт резиновой промышленности», АО «Чебоксарское производственное объединение имени В. И. Чапаева» и др.

Вследствие научной новизны, представленные в работе результаты могут быть использованы в образовательном и исследовательском процессах в организациях Министерства науки и высшего образования РФ, например, ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет», ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева» и др.

### **Полнота изложения материалов диссертационной работы**

Результаты диссертационной работы прошли необходимую апробацию на научно-практических конференциях. По теме диссертационной работы было опубликовано 18 работ, из которых 2 статьи в журналах, рекомендованных ВАК при Министерстве науки и высшего образования РФ, 2 статьи в журналах, индексируемых в азе данных Scopus, 14 публикаций в сборниках и материалах конференций различного уровня. Автореферат и публикации Вохмянина М.А. достаточно полно отражают содержание диссертационной работы.

### **Замечания по диссертационной работе**

1. Один из важных пунктов научной и практической значимости представленной работы – вовлечение вторичных полимерных материалов в производство бытовых и промышленных товаров. Разработка нового способа деструкции ПЭТ обеспечивает возможность не только уменьшения экологической нагрузки на окружающую среду, но и расширение сырьевой базы полимерной промышленности. Однако в обсуждении полученных результатов на факте использования именно вторичного ПЭТ в качестве сырья для аминолитической деструкции внимание недостаточно акцентировано.

2. В работе значительная доля результатов относится к процессу аминолитической деструкции ПЭТ и исследованиям свойств получаемых продуктов. При этом исследованию свойств эластомерных композиций, содержащих продукты деструкции ПЭТ, уделено меньшее внимание.

3. Указанный в главе 2 в п.2.10 ГОСТ Р 54556-2011 описывает методику изготовления и испытания резиновых смесей на основе бутадиен-нитрильных каучуков (ГОСТ Р 54556-2011 «Каучуки бутадиен-нитрильные (NBR). Приготовление и испытание резиновых смесей»). Бутадиен-нитрильные каучуки производства АО «Красноярский завод синтетического каучука» оцениваются на соответствие ТУ 38.30313-2006.



4. Снижение доли наполнителя приводит к одновременному увеличению доли полимерной компоненты и, как следствие, к изменению межфазного взаимодействия в создаваемых эластомерных композициях. В условиях уменьшения содержания технического углерода при одновременном введении новой, ранее не изученной добавки, как показано в таблице 8 диссертации (таблице 2 автореферата), возникают затруднения с анализом результатов реологических, вулканизационных и упруго-прочностных испытаний эластомерных композиций.

5. В таблице 8 диссертации (таблице 2 автореферата) показано, что в качестве основы модельных эластомерных композиций применяется каучук БНКС-40АМН. Однако, промышленная резиновая смесь 7-ИРП-1068-3С, выбранная в качестве композиции сравнения, изготавливается на каучуке БНКС-28АМН, имеет значительно большее наполнение техническим углеродом, другую вулканизирующую группу и иные ингредиенты, не используемые в модельных композициях на основе каучука БНКС-40АМН. Как следствие, наблюдаются значительные различия по всем реологическим и упруго-прочностным показателям между опытными композициями и композицией сравнения. При этом для модельных эластомерных композиций на основе хлоропренового каучука промышленный объект сравнения отсутствует.

6. В таблице 8 и таблице 15 диссертации (таблице 3 и таблице 6 автореферата), отражены результаты реометрических испытаний исследуемых смесей на основе бутадиен-нитрильного и хлоропренового каучуков соответственно. К сожалению, в эти таблицы не были включены полученные автором на реометре Moving Die Rheometer данные, например, о скорости вулканизации и характеристиках  $\text{tg}\delta$  при минимальном и максимальном крутящих моментах, которые характеризуют процесс вулканизации и характер межфазного взаимодействия.

## Заключение

Указанные замечания не снижают научную и практическую значимость выполненной автором большой экспериментальной работы, позволившей разработать эффективный способ химического рециклинга ПЭТ, предложить технологическую схему процесса аминолитической деструкции ПЭТ с получением товарных продуктов, обосновать возможность их применения в составе эластомерных композиций на основе полярных каучуков. Представленная работа безусловно заслуживает положительной оценки.

Диссертационная работа Вохмянина Михаила Александровича «Эластомерные композиции с новыми ингредиентами на основе продуктов аминолитической деструкции полиэтилентерефталата» представляет законченную научно-квалификационную работу, в которой на основании комплексных исследований разработаны и научно обоснованы решения и рекомендации химическому рециклингу ПЭТ и применению его продуктов в составе эластомерных композиций на основе полярных каучуков.

По своей актуальности, научной новизне, значимости полученных результатов и личному вкладу автора соответствует критериям, установленным пп. 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 (в ред. Постановлений Правительства РФ от 11.09.2021), предъявляемым к кандидатским диссертациям, в которой изложены результаты, обеспечившие решение важной научно-технической задачи по решению экологических задач, расширению сырьевой базы полимерной промышленности и разработке эластомерных композиций с увеличенным ресурсом эксплуатации, а ее автор, Вохмянин Михаил Александрович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.17.06 – Технология и переработка полимеров и композитов.




Диссертация, автореферат и отзыв обсуждены и единогласно одобрены на расширенном заседании кафедры Химической технологии твердых ракетных топлив, нефтепродуктов и полимерных композиций ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева» (протокол № 11 от 19.08.2022 года). На заседании присутствовало 12 чел (11 кандидатов наук, 1 доктор наук).

#### Официальный оппонент

Заведующий кафедрой химической технологии твердых ракетных топлив, нефтепродуктов и полимерных композиций Федерального государственного бюджетного учреждения высшего образования «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева»,  
кандидат технических наук (специальность 02.00.04 «Физическая химия»),  
доцент

Ворончихин Василий Дмитриевич

 19.08.2022

660037, г. Красноярск, пр. имени газеты «Красноярский рабочий», д. 31  
ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева»,  
тел. раб.: +7 (391) 222-72-73; 222-74-72;  
тел. сот.: 8-983-293-78-45  
E-mail: [vvd-77@mail.ru](mailto:vvd-77@mail.ru)

Подпись Ворончихина Василия Дмитриевича заверяю,

Проректор по научной и инновационной деятельности  
ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева»,  
доктор физико-математических наук, профессор

Логинов Юрий Юрьевич

