

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе и
инновационной деятельности
ЮРГПУ (НПИ),
кандидат технических наук, доцент
Гузин Владимир Сергеевич



2025 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова»

Диссертация «Синтез и свойства неперелыхных полиэфигов 2,5-фурандикарбоновой кислоты и композиционных материалов на их основе» выполнена на кафедре «Химические технологии» и в НИИ «Нанотехнологии и новые материалы» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова».

В период подготовки диссертации соискатель Петренко Дмитрий Сергеевич обучался в очной аспирантуре федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова» по научной специальности 2.6.5. Порошковая металлургия и композиционные материалы (срок обучения с 01.09.22 г. – 31.08.26 г.), работал в Южно-Российском государственном политехническом университете (НПИ) имени М.И. Платова в НИИ «Нанотехнологии и новые материалы» в должностях: лаборанта (с 17.06.2019 г. по 31.12.2019 г.) и инженера (с 16.12.2023 г. по 18.03.2024 г.); в НИЛ «Новые композиционные и функциональные материалы со специальными свойствами» в должностях: инженера (с 25.10.2021 г. по 15.12.2023 г.) и младшего научного сотрудника (с 19.03.2024 г. по 30.09.2024 г.); на кафедре «Химические технологии» в должности ассистента (с 01.10.2024 г. по настоящее время). По внутреннему совместительству работал в лаборатории «Катализаторы и технологии переработки углеродсодержащих материалов» в должности инженера (с 16.09.2020 г. по 29.12.2020 г.), на кафедре «Химические технологии» в должности ведущего инженера (с 03.10.2022 г. по 30.12.2023 г.), в НИЛ «Новые композиционные и функциональные материалы со специальными свойствами» в должности младшего научного сотрудника (с 01.10.2024 г. по настоящее время).

В 2022 году Петренко Д.С. с отличием окончил магистратуру федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова» по направлению подготовки 18.04.01 «Химическая технология».

Был прикреплен к Кабардино-Балкарскому государственному университету имени Х.М. Бербекова для сдачи кандидатских экзаменов по научной специальности 1.4.7 – Высокомолекулярные соединения (с 10.09.2025 г. по 09.10.2025 г.).

Справка о сдаче кандидатских экзаменов выдана 23.09.2025 г. Кабардино-Балкарским государственным университетом имени Х.М. Бербекова.

Научный руководитель – Клушин Виктор Александрович, кандидат технических наук, работает в должности научного сотрудника в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова» в НИЛ «Новые композиционные и функциональные материалы со специальными свойствами».

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

1. Цель и актуальность работы

Целью работы является разработка научно-технологических основ получения неперелых полиэфирных смол с использованием 2,5-фурандикарбоновой кислоты и изготовление волокнистых композиционных материалов конструкционного назначения.

В настоящее время современный мир стал полностью зависим от полимерных и композиционных материалов. Они глубоко вошли в нашу повседневную и профессиональную жизнь. Без них немыслимы все отрасли современной промышленности, такие как машино-, судо- и авиастроение, сельское хозяйство, бытовая техника и электроника и т. д. Закономерно, что производство данных материалов занимает огромную долю промышленности.

В то же время, глубоко проникнув во все сферы нашей жизни, полимерные и композиционные материалы оказывают большое негативное воздействие на природу и создают немало экологических проблем. Проявляется это в том, что природа обильно загрязняется как отходами на стадии производства полимерных соединений, так и при их дальнейшей переработке и утилизации. Полимеры имеют длительное время распада и содержат в своем составе некоторые токсичные вещества, выделяющиеся в окружающую среду при деструкции. Для производства полимеров используются природные ископаемые, такие как нефть, газ и уголь, являющиеся основным источником углеродосодержащего сырья. Эти источники являются не только невозобновляемыми, но их использование для производства полимеров способствует ускоренному накоплению диоксида углерода в атмосфере.

Исходя из вышесказанного, уже сейчас стоит задуматься о поиске возобновляемых источников углеродного сырья и производстве на их основе более экологичных полимеров и композиционных материалов. Одним из путей решения сложившейся проблемы может стать использование растительной биомассы, поскольку она является основным источником возобновляемого углерода, а также натуральных волокон, применяемых в качестве армирующих

наполнителей полимерных композиционных материалов (ПКМ). Полученные на основе натуральных компонентов ПКМ называются биопластиками. Армированные натуральными волокнами биопластики давно уже имеют свою нишу в различных отраслях промышленности, например, в автомобильной: во внутренней отделке машин, различных панелях, сидениях, бамперах и т. д. Однако, при производстве подобных материалов все также используются связующие на основе соединений, полученных в результате переработки нефтяного сырья. Поэтому, исследования, направленные на получение связующих на основе возобновляемого углеродного сырья, прежде всего, растительной биомассы, имеют высокую актуальность и способствуют продвижению концепции замкнутого углеродного цикла.

Тема диссертационного исследования соответствует научному направлению университета «Теоретические основы ресурсосберегающих химических технологий, создания перспективных материалов, способов преобразования энергии и защиты окружающей среды», утвержденного ученым советом ЮРГПУ (НПИ) 29 декабря 2021 г., протокол № 5, и стратегии научно-технологического развития Российской Федерации утвержденной указом Президента РФ от 28 февраля 2024 г. № 145, пункт 21 (б) «переход к экологически чистой и ресурсосберегающей энергетике, повышение эффективности добычи и глубокой переработки углеводородного сырья, формирование новых источников энергии способов ее передачи и хранения».

Исследования по теме диссертационной работы поддержаны Минобрнауки России в рамках государственного задания (соглашение № 075-03-2024-152/1 от 15 февраля 2024 года, шифр FENN 2024-0003).

Тема диссертации утверждена ученым советом технологического факультета 15 сентября 2022 г., протокол № 1, в настоящей редакции - 29 августа 2025 г., протокол № 15.

2. Личное участие автора в получении результатов, изложенных в диссертации

Лично автором работы проведены: анализ научной литературы по теме исследований, разработка и реализация методик синтеза непредельных полиэфирных смол с использованием 2,5-фурандикарбоновой кислоты, получение на их основе композиционных материалов, исследование физико-механических свойств разработанных непредельных полиэфирных смол и композиционных материалов на их основе, интерпретация полученных результатов, подготовка материалов к опубликованию. Постановка целей и задач исследования, анализ полученных результатов, формулирование выводов проведены совместно с научным руководителем. Публикации написаны в соавторстве.

Лично соискателем получены следующие научные результаты:

1. Предложен новый подход получения непредельных полиэфиров с использованием 2,5-фурандикарбоновой кислоты;

2. Исследована химическая структура полученных связующих и промежуточных соединений, образующихся на разных стадиях синтеза полиэфируретан-акрилата методами ЯМР и ИК-спектроскопии;

3. Изготовлены композиционные материалы на основе синтезированных полиэфирмалеинатов и полиэфир-уретанакрилатов, армированных непрерывным волоконным наполнителем;

4. Исследованы физико-механические свойства полученных композиционных материалов (прочность при разрыве и изгибе, плотность, водопоглощение, термические свойства);

5. Разработаны технологические рекомендации и принципиальная схема синтеза ПЭУА на основе 2,5-фурандикарбоновой кислоты и пропитки тканевого армирующего материала полученным связующим.

3. Степень достоверности результатов проведенных исследований

Достоверность полученных результатов и выводов диссертационной работы базируется на большом объеме экспериментальных исследований, согласованности с основными научными положениями, разработанными ведущими учеными в области синтеза и исследования свойств высокомолекулярных соединений, в частности, полиэфирных смол, и высокой воспроизводимости экспериментальных данных в пределах заданной точности, а также широким обсуждением результатов исследований на научных конференциях различного уровня. При проведении исследований использовались современные физико-химические методы с применением сертифицированного оборудования, в том числе оборудования ЦКП «Нанотехнологии» ЮРГПУ (НПИ), НИИ «Нанотехнологии и новые материалы».

Научная новизна результатов проведенных исследований

1. Предложен новый подход и разработаны научно-обоснованные технологические решения синтеза непредельных полиэфиров, таких как полиэфирмалеинат и полиэфир-уретанакрилат, а именно, впервые для этой цели была использована 2,5-фурандикарбоновая кислота, полученная из возобновляемого растительного сырья, что способствует продвижению концепции экономики замкнутого цикла;

2. Установлены химические структуры полиэфир-уретанакрилата и промежуточных соединений, образующихся на разных стадиях его синтеза, на основании чего предложена последовательность химических процессов формирования полимерной цепи, что позволяет варьировать свойства связующего;

3. Выявлены зависимости физико-механических свойств композиционных материалов на основе полиэфирмалеината и полиэфир-уретанакрилата от типа армирующих волокон: добавление к стекло- и углеволокну хлопковой ткани, обладающей повышенной адгезией к связующему, увеличивает прочность при

разрыве композиционных материалов, полученных с применением полиэфир-уретанакрилата, на 11 % и 53 % соответственно;

4. Установлено, что полимерные композиционные материалы на основе разработанного полиэфир-уретанакрилата, армированные натуральными, синтетическими и минеральными наполнителями превосходят в 1,3-2,8 раз по прочности при разрыве и в 2,2-5,1 раза по прочности при изгибе аналогичные характеристики материалов, изготовленных с применением неперекрещенных полиэфирных смол на основе малеинового ангидрида, что является следствием повышения прочности матрицы за счет наличия уретановых связей, а также повышенной адгезии наполнителя к разработанному связующему.

Практическая значимость результатов исследований

Установленные оптимальные параметры и разработанные технологические рекомендации получения полиэфир-уретанакрилатного связующего, а также выявленные закономерности влияния типа наполнителя на эксплуатационные характеристики материала и предложенный способ комбинирования разных наполнителей могут послужить основой для последующего применения в промышленных масштабах и оптимизации процессов производства материалов с заданными свойствами.

Разработанные технологические рекомендации по получению полиэфир-уретанакрилата на основе 2,5-фурандикарбоновой кислоты внедрены в производственном процессе ООО «ХимИнжиниринг» в качестве связующего для изготовления компаундов для укладки наливных покрытий для пола.

Ценность научных работ соискателя

Ценность научных работ состоит в выявлении принципиальной возможности синтеза и разработке научных и технологических основ получения новых связующих на основе 2,5-фурандикарбоновой кислоты с варьируемыми свойствами, такими как вязкость и прочность при разрыве и изгибе, что позволяет создавать на их основе композиты с высокими эксплуатационными характеристиками и решать очень важную проблему получения экологичных материалов с использованием возобновляемого сырья, что способствует продвижению концепции экономики замкнутого цикла.

Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных автором

Результаты диссертационного исследования опубликованы в 19 научных работах (общим объемом 4,06 п. л., вклад соискателя 2,32 п. л.), из них работ, опубликованных в рецензируемых научных изданиях из перечня ВАК – 3 и зарубежных изданиях, включенных в наукометрические базы данных Scopus и Web of Science – 2; патент Российской Федерации – 1; материалов всероссийских и международных конференций – 13.

Основные научные результаты достаточно полно отражены:

- в работах, опубликованных в отечественных изданиях, которые входят в международные реферативные базы данных и системы цитирования:

1. Petrenko D.S. Composite materials based on biorenewable polyestermaleinate / Petrenko D.S., Klushin V.A., Yatsenko A.N., Faddeev N.A., Ulyankina A.A. // University News. North-Caucasian Region. Technical Sciences, 2021, no. 4, pp. 93 – 99. <http://dx.doi.org/10.17213/1560-3644-2021-4-93-99> (0,7/0,41);

2. Petrenko D.S. Polymer composite materials based on a binder from renewable raw materials: the effect of a filler on the physical and mechanical properties / Petrenko D.S., Klushin V.A., Petrenko A.A., Ulyankina A.A., Smirnova N.V. // *Plasticheskie massy*. 2024;(1):40-43. (In Russ.) <https://doi.org/10.35164/0554-2901-2024-01-40-43> (0,47/0,25);

3. D.S. Petrenko. Effect of isocyanate type on thermal and mechanical properties of bio-based polyester-urethane-acrylate as a polymer matrix / D.S. Petrenko, V.A. Klushin, A.A. Petrenko, N.V. Smirnova, A.A. Ulyankina. // *Izv. vuzov. Sev.-Kavk. region. Techn. nauki=Bulletin of Higher Educational Institutions. North Caucasus Region. Technical Sciences*. 2025;(2):49-56. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.17213/1560-3644-2025-2-49-56>. (0,93/0,54);

- в работах, опубликованных в изданиях, включенных в наукометрические базы данных Scopus и Web of Science:

4. Klushin V. Unsaturated polyester resins and fiber-reinforced polymer composites from plant biomass / Klushin V., Shabliy E., Petrenko D. // *Key Engineering Materials*. – 2020. – Т. 869. – С. 169-174 (Q4) (0,69/0,35);

5. Petrenko Dmitry. Natural fiber reinforced biomass-derived poly (ester-urethane-acrylate) composites for sustainable engineering applications / Petrenko Dmitry, Klushin Victor, Zelenskaya Alina, Yatsenko Aleksey, Sotnikov Anton, Ulyankina Anna, Smirnova Nina. // *Journal of Polymer Research*. – 2022. – Т. 29. – №. 12. – С. 503 (Q2) (0,288/0,157);

- в полученном патенте РФ на изобретение:

6. Смирнова Н.В. Патент РФ 2760519, МПК C08G 63/16; C08G 63/18; C08G 63/52; C08G 63/54; C08G 63/66; C08G 63/672; C08G 63/676. Способ получения ненасыщенных полиэфирных смол / Смирнова Н.В., Клушин В.А., Петренко Д.С. № 2020139558; заявл. 02.12.2020; опубл. 26.11.2021. Бюл. № 33.

Основные положения и результаты диссертационной работы представлены на международных конференциях: «Современные твердофазные технологии: теория, практика и инновационный менеджмент» (Тамбов, Россия, 2021), XVIII-XXI Международной научно-практической конференции «Новые полимерные композиционные материалы. Микитаевские чтения» (п. Эльбрус, Россия, 2022-2025 г.).

Личный вклад автора в опубликованных в соавторстве работах состоит в выборе объектов исследований, постановке задач и проведении исследований (№№ 1–6), разработке технологии получения непредельных полиэфиров на основе 2,5-фурандикарбоновой кислоты (№№ 1-6), получении непредельных

полиэфиров на основе 2,5-фурандикарбоновой кислоты (№№ 1-6), получении композиционных материалов на основе полученных непредельных полиэфирных смол (№№ 1-6), исследование физико-механических свойств (№№ 1-6), интерпретации полученных результатов (№№ 1-6), подготовке материалов к опубликованию (№№ 1-6).

8. Научная специальность и отрасль науки, которым соответствует диссертация

Диссертационная работа Петренко Дмитрия Сергеевича «Синтез и свойства непредельных полиэфиров 2,5-фурандикарбоновой кислоты и композиционных материалов на их основе» соответствует паспорту научной специальности 1.4.7 – Высокомолекулярные соединения технической отрасли науки, в частности, согласно паспорту специальности, следующим направлениям исследований:

– п.2 «Синтез олигомеров, в том числе специальных мономеров, связь их строения и реакционной способности. Катализ и механизмы реакций полимеризации, сополимеризации и поликонденсации с применением радикальных, ионных и ионно-координационных инициаторов, их кинетика и динамика. Разработка новых и усовершенствование существующих методов синтеза полимеров и полимерных форм» (рассматриваются вопросы получения олигомера – полиэфирмалеината, методом поликонденсации диэтиленгликоля, 2,5-фурандикарбоновой кислоты и малеинового ангидрида; рассматриваются вопросы получения полиэфир-уретанакрилата методом поликонденсации диэтиленгликоля и 2,5-фурандикарбоновой кислоты и дальнейшей модификации полученного олигомера с помощью толуилендиизоцианата и β -гидроксиэтилметакрилата);

– п.9 «Целенаправленная разработка полимерных материалов с новыми функциями и интеллектуальных структур с их применением, обладающих характеристиками, определяющими области их использования в заинтересованных отраслях науки и техники» (рассматриваются вопросы получения новых непредельных полиэфиров 2,5-фурандикарбоновой кислоты и композиционных материалов на их основе, армированных различным волокнистым наполнителем, определяющим физико-механические свойства, от которых зависит область их возможного применения)

9. Выводы

Диссертация «Синтез и свойства непредельных полиэфиров 2,5-фурандикарбоновой кислоты и композиционных материалов на их основе» оформлена в соответствии с пунктом 30 Положения о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук и с ГОСТом Р 7.0.11-2011.

Диссертация соответствует требованиям, предъявляемым Положением о присуждении ученых степеней к кандидатским диссертациям, в том числе:

- п. 9, является научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные технологические решения и разработки по получению непредельных полиэфиров на основе 2,5-фурандикарбоновой кислоты из возобновляемого растительного сырья, позволяющие решить очень важную проблему получения экологичных материалов с заданными свойствами, что имеет существенное значение для развития химической отрасли;

- п. 14, в диссертации соискатель ссылается на автора и (или) источник заимствования материалов или отдельных результатов. При использовании результатов научных работ, выполненных лично и (или) в соавторстве, соискатель отметил это обстоятельство.

Диссертация «Синтез и свойства непредельных полиэфиров 2,5-фурандикарбоновой кислоты и композиционных материалов на их основе» Петренко Дмитрия Сергеевича рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.4.7 – Высокомолекулярные соединения.

Заключение принято на совместном заседании кафедры «Химические технологии» и НИИ «Нанотехнологии и новые материалы».

Присутствовали на заседании – 38 чел., в том числе – 7 докторов наук. Результаты голосования: «за» – 37 чел., «против» – нет, «воздержались» – нет, протокол № 2 от 22 сентября 2025 г.

Председательствующий на
совместном заседании кафедры и НИИ
«Нанотехнологии и новые материалы»,
заведующий кафедрой «Химические
Технологии» технологического
факультета ФГБОУ ВО «ЮРГПУ (НПИ)
имени М.И. Платова, д.т.н.,

Директор НИИ «Нанотехнологии и новые
материалы», к.т.н.

Подписи Липкина М.С.,
Яковенко Р.Е. заверяю
Начальник управления
персоналом ЮРГПУ (НПИ)



Липкин М. С.

Яковенко Р. Е.



Иванченко Г. Г.