**ОТЗЫВ**

**официального оппонента на диссертационную работу Петренко Дмитрия Сергеевича, выполненную на тему: «Синтез и свойства непредельных полиэфиров 2,5-фурандикарбоновой кислоты и композиционных материалов на их основе», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.4.7. Высокомолекулярные соединения.**

**Актуальность темы**

Диссертационная работа Петренко Д.С. посвящена решению актуальной научно-технической проблемы – созданию новых полимерных связующих и композиционных материалов на основе возобновляемого растительного сырья. В условиях истощения нефтехимических ресурсов и ужесточения экологических требований переход к биоосновanным полимерам является приоритетным направлением развития химии и технологии высокомолекулярных соединений. Использование 2,5-фурандикарбоновой кислоты (ФДКК), получаемой из биомассы, в качестве мономера для синтеза непредельных полиэфирных смол (НПС) позволяет не только заместить традиционные нефтехимические аналоги (терефталевую, фталевую кислоты), но и способствует продвижению концепции замкнутого углеродного цикла. Тема работы несомненно **актуальна** и своевременна.

**Анализ содержания работы и её завершенности**

Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка литературы (225 наименований) и двух приложений. Работа изложена на 130 страницах, содержит 39 рисунков и 17 таблиц.

**Во введении** чётко обоснована актуальность, сформулированы цель и задачи, научная новизна, теоретическая и практическая значимость, положения, выносимые на защиту.

**Первая глава** представляет из себя литературный обзор, который достаточно полно отражает современное состояние проблемы: рассмотрены

полимерные композиционные материалы, армирующие волокна, полимерные матрицы, непредельные полиэфирные смолы, а также вопросы получения ФДКК из биомассы и её применения для синтеза полиэфиров. Критический анализ литературы логично подводит к недостаточно изученной области – использованию ФДКК для получения непредельных полиэфиров и композитов на их основе.

**Вторая глава** посвящена методикам синтеза матриц и композиционных материалов, а также методам исследования их свойств. Использованы современные физико-химические методы: ЯМР, ИК-спектроскопия, ТГА/ДТГ, СЭМ, механические испытания, определение водопоглощения и плотности. Методики описаны корректно, воспроизводимы.

**Третья глава** содержит обсуждение результатов. Автором проведён синтез полиэфирмалеината (ПЭМ) на основе ФДКК, малеинового ангидрида и диэтиленгликоля, оптимизированы мольные соотношения компонентов. Показано, что композиты на основе ПЭМ с ФДКК превосходят по прочности материалы с фталевым ангидридом. Разработан синтез полиэфир-уретанакрилата (ПЭУА), исследовано влияние соотношения ФДКК:ДЭГ, типа изоцианата (ТДИ, МДИ) и добавок глицерина на вязкость и прочностные свойства. Установлены структуры промежуточных-соединений методами ЯМР и ИК-спектроскопии. Изготовлены композиционные материалы с различными наполнителями (натуральные, синтетические, минеральные) и проведено сравнение их свойств с аналогами на основе эпоксидных и коммерческих полиэфирных смол. Показано, что ПЭУА обеспечивает высокие прочностные характеристики, сопоставимые с эпоксидными матрицами.

**Четвёртая глава** посвящена технологическим аспектам: разработаны принципиальные технологические схемы синтеза ПЭУА и пропитки тканевого наполнителя. Приведены нормы загрузки, материальные балансы. Технологические рекомендации внедрены в ООО «ХимИнжиниринг», что подтверждено актом внедрения.

**Заключение** содержит 9 выводов, которые полностью соответствуют поставленным задачам и отражают основные результаты работы.

Диссертация представляет собой завершённое научное исследование, выполненное на высоком методическом уровне.

**Степень обоснованности результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации**

Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций не вызывает сомнений. Она обеспечивается: корректной постановкой цели и задач, использованием комплекса взаимодополняющих современных методов анализа (ЯМР, ИК-Фурье, ТГА/ДТГ, СЭМ, механические испытания), большим объёмом экспериментальных данных, их статистической обработкой, согласованностью полученных результатов с известными литературными данными, апробацией результатов на международных и всероссийских конференциях (13 докладов), публикацией 20 научных работ, в том числе 3 статей в изданиях перечня ВАК, 2 – в журналах, индексируемых Scopus/Web of Science, и 2 патентов РФ. Выводы логичны, аргументированы и вытекают из содержания работы.

**Научная новизна** диссертационного исследования заключается в том, что автором разработаны научно обоснованные технологические решения для получения 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.

Автором впервые изучен процесс синтеза непредельных полиэфиров 2,5-фурандикарбоновой кислоты и установлены химические структуры полиэфир-уретанакрилата и промежуточных соединений, образующихся на разных стадиях его синтеза. В работе предложена последовательность химических процессов формирования полимерной цепи, что позволяет варьировать свойства связующего.

**Теоретическая значимость** работы состоит в развитии представлений о синтезе и свойствах биоосновanных непредельных полиэфиров, установлении взаимосвязей «состав – структура – свойства» для фурансодержащих полимерных матриц. Полученные данные расширяют теорию поликонденсации и радикальной полимеризации применительно к мономерам из возобновляемого сырья.

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, которые могут послужить основой для последующего применения в промышленных масштабах и оптимизации процессов производства материалов с заданными свойствами, и внедрение разработанных технологических рекомендаций по получению полиэфир-уретанакрилата на основе 2,5-фурандикарбоновой кислоты в производственном процессе ООО «ХимИнжиниринг» в качестве связующего для изготовления компаундов для укладки наливных покрытий для пола подтверждают **практическую значимость** работы.

**Соответствие содержания автореферата основным положениям и выводам диссертации, качество оформления автореферата** Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации, отражает её основные положения, результаты и выводы. Структура и объём автореферата соответствуют требованиям ВАК. Основные результаты опубликованы в достаточном количестве работ.

**По диссертационной работе имеются следующие замечания:**

1. В методической части работы не указаны конкретные размеры тканевых заготовок, толщина пакета препрега и характеристики использованных тканей — марка, плотность, тип переплетения, производитель. Для образцов при испытаниях на растяжение и изгиб приведены только буквенные обозначения ($l_0$, $l_1$, L, b, h) без числовых.

Единственный конкретный размер указан для образцов при определении плотности — сторона квадрата 1,5 см (с. 55). Без этих данных воспроизведение методики создания ПКМ и испытаний затруднено.

2. В работе не приведены значения молекулярной массы синтезированных олигоэфиров и полимеров — ни для полиэфирмалеината, ни для полиэфир-уретанакрилата на разных стадиях синтеза. При этом автор сам указывает (с. 62): «Повышение соотношения ФДКК : ДЭГ приводит к увеличению вязкости готового продукта. Это связано с ростом молекулярной массы олигоэфира, образующегося на первой стадии синтеза». Таким образом, утверждение о связи «молекулярная масса → вязкость → прочность» остаётся недоказанным количественно. Прошу пояснить, проводилось ли определение молекулярной массы для полученных автором продуктов.

3. В работе изучено совмещение тканевого наполнителя и связующего методами ИК-спектроскопии и СЭМ, однако количественные характеристики межфазного взаимодействия (адгезионная прочность, смачиваемость, равномерность пропитки, содержание связующего) не приведены. Вывод о «повышенной адгезии» хлопковой ткани к ПЭУА базируется на косвенных данных. Прошу пояснить, на каком основании сделан вывод о различной адгезии хлопка и джута, если прямые измерения адгезионной прочности не проводились.

4. В п. 8 заключения указано, что материалы «соответствуют стандартам водопоглощения для материалов на основе коммерческих полимерных матриц». Прошу конкретизировать, каким именно стандартам (ГОСТ, ТУ, ISO) и для каких условий эксплуатации соответствуют полученные значения.

5. В автореферате и диссертации встречаются опечатки и технические погрешности, которые искажают химические термины: «полиэтерефикация» вместо «полиэтерификация» (с. 7, 84 диссертации; с. 4, 17 автореферата), «толоуилендиизоцианат» вместо «толуилендиизоцианат» (с. 90 диссертации; с. 20 автореферата), «полиэфирматеинат» вместо «полиэфирмалеинат» (с. 20 автореферата).

Указанные замечания не снижают научной и практической значимости исследования и не влияют на достоверность, а также на основные выводы, сделанные в работе.

**Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным «Положением о порядке присуждения ученых степеней»**

Таким образом, диссертация Петренко Дмитрия Сергеевича на тему «Синтез и свойства непредельных полиэфиров 2,5-фурандикарбоновой кислоты и композиционных материалов на их основе» представляет собой завершенную научно-квалификационную работу, в которой изложены новые научно обоснованные технологические решения по использованию возобновляемого растительного сырья для получения новых связующих, а также создания композиционных материалов на их основе, армированных непрерывным волокнистым наполнителем, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие химической отраслей промышленности страны и способствуют продвижению концепции устойчивого развития.

Работа соответствует требованиям **пунктов 9-11, 13, 14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней»**, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842 (в действующей редакции), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а её автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук.

**Официальный оппонент**
старший научный сотрудник
научной лаборатории
«Высокомолекулярные соединения»
ФГБОУ ВО «Сибирский государственный
университет науки и технологий имени
академика М.Ф. Решетнева», к.х.н _____ / С.Ю. Воронина /

Подпись к.х.н. с.н.с. Ворониной С.Ю. удостоверяю

Ученый секретарь ФБГОУ ВО

«Сибирский государственный

университет науки и технологий имени

академика М.Ф. Решетнева»

Кандидат исторических наук Гончаров Александр Евгеньевич

«15» 10 2026 г.

Организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», 660037, г. Красноярск, проспект им. газеты «Красноярский рабочий», д. 31, info@sibsau.ru, +7 (391) 266-03-88

Даю согласие на обработку моих персональных данных, связанных с работой диссертационного совета.