

## ОТЗЫВ

Официального оппонента на диссертационную работу Трофимова Дмитрия Александровича на тему:

### **«ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ РАДИОПРОЗРАЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ АРМИРОВАННЫХ СТЕКЛОПЛАСТИКОВ НА ОСНОВЕ 3D-МОДЕЛИ СТРУКТУРНОЙ ЯЧЕЙКИ И ЭПОКСИДНЫХ СВЯЗУЮЩИХ С АКТИВНЫМИ РАЗБАВИТЕЛЯМИ»**

на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.11. Технология и переработка синтетических и природных полимеров и композитов

Одним из критериев развития экономики страны, определяющим уровень ее инноватики и конкурентоспособности, является производство полимерных композиционных материалов (ПКМ), которые находят широкое применение в авиационном -, машино -, судо-, автомобиле-, приборостроении и других отраслях. Особую категорию таких материалов, разработке которых посвящена настоящая работа, составляют армированные композиты для создания высокопрочных конструкций и радиопрозрачных изделий (РПИ).

Учитывая высокие требования, предъявляемые к радиопрозрачным изделиям, в части обеспечения требуемых радиофизических, физико-механических и др. характеристик, армированные полимерные композиционные материалы представляют собой достаточно сложные объекты как для проектирования составов, так и для производства изделий на их основе.

Автор рассматриваемой диссертации, Трофимов Дмитрий Александрович, на хорошем квалификационном уровне справился с этой задачей, применив при постановке и выполнении работы методологию направленного структурообразования, в основе которой: научно-обоснованный выбор исходного полимерного связующего, в качестве которого использована эпоксидная смола, имеющая наибольшее распространение для получения стеклопластиков специального назначения; модификация полимерного связующего активными разбавителями с целью достижения реокинетических параметров для оптимизации процессов пропитки армирующих элементов (стеклянных тканей) разной структуры; разработка технологии получения композитов с заранее прогнозируемой морфологией и комплексом эксплуатационных свойств.

Особенно актуальным в современных условиях проектирования композитов представляется использованный автором диссертации инструмент реализации методологии направленного структурообразования, включающий 3D проектирование, цифровизацию, а также использование систем инжиниринговых программ и расчетов, которые в совокупности позволили не только разработать модели для сложных анизотропных структур, но и выполнить расчеты показателей технологических и физико-механических свойств полимерных композитов.

Последний фактор является безусловным драйвером развития отечественного полимерного материаловедения и относится к достоинствам оппонируемой работы.

Квинтэссенция вышесказанное отражена в формулировке цели работы – создание технологии получения армированных композитов и радиопрозрачных

изделий на основе эпоксидных связующих с активными разбавителями и 3D-модели элементарной структурной ячейки анизотропного композиционного материала и методов расчета комплекса физико-механических и структурных характеристик анизотропных материалов.

Согласно такой собирательной цели, все поставленные автором задачи для ее решения условно можно разделить на три группы:

– задачи по исследованию физико-химических характеристик полимерного связующего и активных разбавителей, а также характера их взаимодействия в широком диапазоне температур в контексте влияния на реокинетические характеристики пропитывающих систем и получение связующих с оптимальным комплексом технологических свойств.

– анализ типов структур текстильных матриц и обоснованный выбор стеклотканей для проектирования композитов для изделий радиотехнического назначения стандартными инструментальными методами исследований, а также методами рентгеновской компьютерной томографии (РКТ).

– задачи по разработке 3D-модели элементарной структурной ячейки анизотропного композита и проведение расчетов физико-механических характеристик армированных полимерных композитов с использованием систем автоматизированного проектирования (CAD) и инженеринговых вычислительных комплексов (CAE).

Все поставленные задачи решены автором на высоком уровне с использованием гостированных и оригинальных методов исследования для определения физико-химических, реокинетических, технологических и физико-механических показателей свойств эпоксидного олигомера с активными разбавителями разной природы и композиционных материалов на их основе, и отражены в пунктах **научной новизны**, наиболее значимыми из которых, на мой взгляд, являются:

– установленные закономерности влияния строения, структуры и содержания активных разбавителей (лапроксидов и лапролатов) на показатели физико-химических (поверхностное натяжение, углы смачивания), реологических, реокинетических, технологических (усадка, остаточные напряжения) и физико-механических свойств эпоксидного связующего для направленного регулирования параметров его переработки;

– разработанные высокотехнологичные составы эпоксидных связующих, на основе ЭД-20, активных разбавителей и отвердителей, а также технологические параметры их переработки для получения армированных композитов и радиопрозрачных изделий;

– результаты использования современных методов рентгеновской компьютерной томографии, систем инженеринговых программ и возможностей CAD программ для построения цифровизованной 3D-модели элементарной структурной ячейки анизотропного композиционного материала, адекватно описывающей структуру и свойства композита;

– впервые, с использованием 3D-модели элементарной структурной ячейки анизотропного композита и вычислительных инженеринговых комплексов (CAE), выполненные виртуальные эксперименты по определению распределения свободного пространства в структуре армирующей системы, положенные в основу технологии пропитки и расчета комплекса физико-механических характеристик

армированного полимерного композиционного материала и радиопрозрачных изделий.

**Практическая значимость работы** не вызывает сомнений и заключается в разработке и внедрении оптимизированных составов, технологических параметров, количества стадий и предложенных инновационных технологий производства радиопрозрачных изделий из конструкционных стеклопластиков для работы в составе авиакосмической, морской и сухопутной техники и объектов специального назначения на АО «НПО Стеклопластик», что подтверждено, представленными в работе Актами.

**Достоверность работы** подтверждена публикациями результатов работы в 8-ми научных статьях журналов, рекомендованных ВАК РФ, 4-х тезисах докладов на международных и национальных конференциях и апробированы на многочисленных конференциях различных статусов.

Диссертация по своей структуре традиционна и состоит из введения, обзора научно-технической литературы (глава 1), описания объектов и методов исследования (глава 2), экспериментальной части (главы 3 – 6), заключения, списка литературы из 109 источников, приложений (Акты), содержит 143 страницы машинописного текста, 45 рисунков и 28 таблиц.

Все главы диссертации по содержанию соответствуют своим названиям, материал хорошо структурирован и логично изложен. Экспериментальные данные наглядно представлены в виде рисунков и информативных таблиц. Все разделы диссертации содержат постановку проблемы, ее экспериментальное решение и теоретическое обоснование, а также краткие выводы.

Автореферат диссертации и печатные труды полностью отражают все положения и результаты диссертационной работы Трофимова Дмитрия Александровича.

Вместе с тем по работе есть несколько вопросов и замечаний:

1. С чем на Ваш взгляд связана существенная разница в показателе вязкости олигомеров марок ЭД -20 (20 Па•с) и DER-330 (7 Па•с)?

2. Не совсем ясен механизм влияния разбавителей различных марок на показатель усадки системы ЭД-20+ТЭТА при разных температурах отверждения. Почему некоторые разбавители, такие как Л-201 Б, Л-ДЭГ-1, увеличивают усадку по сравнению с не модифицированными системами, а остальные снижают. Чем можно объяснить наибольшую эффективность, с точки зрения снижения усадки, активного разбавителя Э-181?

3. При анализе кинетики нарастания внутренних напряжений, обнаружен одинаковый эффект снижения их уровня для систем Л-201 Б и Э-181, хотя их влияние на значение усадки прямо противоположно? Чем это можно объяснить?

4. В диссертации и автореферате, практически ко всем рисункам Главы 4 и 5 даны некорректные обозначения стеклоткани марки Т-25(ВМП)- ткань на основе высокомодульных высокопрочных волокон с парафиновым замасливателем. Это не правильно, так как для целей работы применение таких волокон не приемлемо. При чтении автореферата это выглядит ошибкой, но при чтении диссертационной работы становится очевидным, что автор понимает невозможность использования стекловолокон с парафиновым или крахмальным замасливателем для создания радиопрозрачных материалов, и в табл. 1.3,2.2 работы приводит правильную аббревиатуру стеклоткани, с которой он и работал Т-25(ВМП)-78, указывая этим, что волокна были замаслены алифатическими системами, что правильно. Поэтому

данная ошибка отнесена к не внимательности и не влияет на представленные результаты.

5. В автореферате на стр. 15 в рис. 6 нет обозначений кривых, на аналогичном рисунке в диссертационной работе они приведены.

6. При прочтении работы замечены несогласованности в тексте, например первый абзац Главы 1, 2-ой абзац сверху стр.11, верхний абзац стр. 46, последний абзац стр. 54 и др., что не влияет на суть представленных результатов, а относится к ошибкам правописания.

В целом, указанные замечания и поставленные вопросы не снижают положительного впечатления о работе Трофимова Д. А., которая по своему объему, научной новизне, практической значимости соответствует уровню и требованиям к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.11. Технология и переработка синтетических и природных полимеров и композитов.

### **Заключение**

Диссертационная работа Трофимова Дмитрия Александровича является законченной научно-квалификационной работой, в которой с применением научно-обоснованного подхода, включающего сочетание стандартных и инновационных цифровых методов проектирования структуры и свойств армированных композиционных полимерных материалов, разработаны и внедрены в производство радиопрозрачные изделия из конструкционных стеклопластиков для работы в составе авиакосмической, морской и сухопутной техники, объектов специального назначения, что имеет важное народно-хозяйственное значение.

Диссертационная работа Трофимова Дмитрия Александровича на тему «Технология получения радиопрозрачных изделий из армированных стеклопластиков на основе 3D- модели структурной ячейки и эпоксидных связующих с активными разбавителями» соответствует паспорту специальности 2.6.11. Технология и переработка синтетических и природных полимеров и композитов в части п. 2 Полимерные материалы и изделия: композиционные материалы; исследования в направлении прогнозирования состава и свойств, технологии изготовления изделий и процессы, протекающие при этом; последующая обработка с целью придания специальных свойств; отверждение олигомеров. В части п.3 Физико-химические основы процессов, происходящих в материалах на стадии изготовления изделий, а также их последующей обработки, в процессе эксплуатации; моделирование технологических процессов переработки. В части п. 6 Полимерное материаловедение; методы прогнозирования и прототипирования; разработка принципов и условий направленного и контролируемого регулирования состава и структуры синтетических и полимерных материалов для обеспечения заданных технологических и эксплуатационных свойств; совершенствование методов исследования и контроля структуры; испытание и определение физико-механических и эксплуатационных характеристик полимерных материалов и изделий.

По актуальности, научной новизне, практической значимости, полученным результатам и выводам диссертационная работа Трофимова Дмитрия Александровича на тему «Технология получения радиопрозрачных изделий из армированных стеклопластиков на основе 3D- модели структурной ячейки и

эпоксидных связующих с активными разбавителями» соответствует требованиям п.п. 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» ВАК при Министерстве науки и высшего образования РФ, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. №842 (в редакции от 11.09.2021 г.) ВАК РФ к кандидатам диссертациям, а ее автор Трофимов Дмитрий Александрович заслуживает присуждения искомой ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.11 Технология и переработка синтетических и природных полимеров и композитов.

Официальный оппонент:

Доктор технических наук (специальность  
05.17.06 Технология и переработка полимеров и композитов)  
профессор, профессор кафедры химии и технологии  
полимерных материалов и нанокompозитов  
ФГБОУ ВО «Российский государственный  
университет им. А.Н. Косыгина»  
(Технологии. Дизайн. Искусство)  
117997 Москва, ул. Садовническая 33. Стр.1  
e-mail: [esbokva@ya.ru](mailto:esbokva@ya.ru)  
+7(903)675-91-71

Бокова Елена Сергеевна



Подпись руки  
заведую

Трофимов Е. С.

Специалист по кадрам

Е.И. Гундовская

17.05.2023