

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Салимова Ильи Эркиновича «Гибкий теплозвукоизоляционный материал низкой плотности на основе стекловолокна» представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.6.11. «Технология и переработка синтетических и природных полимеров и композитов»

Актуальность темы диссертационной работы

Современный этап прорывного развития отечественного авиастроения предполагает серийный выпуск современных воздушных судов полностью на российских комплектующих и двигателях, а также разработку нового поколения гражданских самолетов. Диссертационная работа Салимова И.Э. посвящена решению важной задачи – разработке и внедрению отечественных материалов для гражданского авиастроения в условиях импортозамещения. Теплозвукоизоляционные материалы (ТЗИМ) являются критическим компонентом воздушных судов, определяющим не только комфорт пассажиров и экипажа, но и безопасность полетов.

Необходимость выполнения комплекса научно-исследовательских работ по разработке нового ТЗИМ была обусловлена совокупностью факторов. Во-первых, это остановка серийного производства отечественного теплозвукоизоляционного материала марки АТМ-1 предприятием ОАО «Салаватстекло» и прекращение поставок зарубежного материала Microlite AA blankets (США). Во-вторых, ужесточение требований к весовой эффективности новых летательных аппаратов типа МС-21, Суперджет, Ил-114, что требует создания материалов с предельно возможной низкой плотностью, обеспечивающих необходимый технический уровень теплозвукоизоляции.

Специфика эксплуатации в условиях переменных температур и высокой влажности, характерная для России, включая арктическую зону, предъявляет повышенные требования к гидрофобности изоляции, так как накопление

влаги приводит к резкому ухудшению теплоизоляционных свойств и вызывает коррозию планера.

Диссертационная работа направлена на создание гибкого ТЗИМ с высоким звукопоглощением, низким коэффициентом теплопроводности, плотностью менее 10 кг/м^3 , обладающего высокой гидрофобностью и отвечающего нормам летной годности (НЛГ 25) по пожаробезопасности, является актуальной и своевременной.

Научная новизна и теоретическая значимость диссертационной работы

Научная новизна и теоретическая значимость работы не вызывают сомнений и заключаются в следующих основных результатах:

Впервые разработана и экспериментально верифицирована физически обоснованная математическая модель, описывающая зависимость эффективного коэффициента теплопроводности волокнистых материалов от плотности в диапазоне $5\text{-}35 \text{ кг/м}^3$. Модель, базирующаяся на анализе вкладов конвективного и радиационного переноса, имеет прогностическую ценность и позволяет разделить вклад различных механизмов теплопереноса.

На основе предложенной модели и экспериментальных данных впервые теоретически обосновано и экспериментально подтверждено пороговое значение плотности 9 кг/м^3 для стекловолокна диаметром 1 мкм . Установлено, что дальнейшее снижение плотности ведет к недопустимому росту теплопроводности за счет нескомпенсированной конвекции и излучения. Данный результат имеет фундаментальное значение для проектирования сверхлегких теплоизоляционных систем.

Впервые установлены корреляции «структура – свойство» ряда модифицированных формальдегидных смол для их применения в качестве связующего в низкоплотных ТЗИМ. Выполненный комплекс физико-химических исследований доказал, что карбамидомодифицированная смола «Фенотам Н210М» обладает уникальным сочетанием высокой адгезии к стекловолокну, способности формировать мелкозернистую упрочняющую

структуру при отверждении и низкого водопоглощения, что делает ее предпочтительной основой для связующего.

Научно обоснован состав многокомпонентного связующего ВС-74, включающего, помимо базовой смолы, кремнийорганический гидрофобизатор, стабилизаторы и борную кислоту. Доказано синергетическое действие компонентов, что обеспечивает высокую гидрофобность ТЗИМ и требуемую долговечность материала.

Практическая значимость полученных результатов

Практическая значимость работы подтверждена конкретными документами:

Разработана и запатентована (патент РФ № 2817837) лабораторная установка для аэрационного формования волокнистых материалов, позволяющая гибко менять состав и параметры получаемых образцов, что ускоряет процесс разработки новых материалов.

Разработана и утверждена научно-техническая документация на связующее марки ВС-74, что обеспечивает возможность его промышленного производства.

Разработаны и утверждены технологическая инструкция и технические условия на новый теплозвукоизоляционный материал марки ВТИ-29. Подана заявка на изобретение № 2024130034.

Ключевым показателем практической значимости является включение материала ВТИ-29 в спецификацию перспективного воздушного судна.

Структура работы

Диссертация состоит из введения, 7 основных глав (литературный обзор, экспериментальная часть, обсуждение результатов) и выводов, изложена на 161 стр. печатного текста, содержит 38 рисунков, 11 таблиц и библиографию из 150 источников.

Во **введении** описаны актуальность работы, цель и решаемые задачи, основные достигнутые результаты, защищаемые положения, научная новизна и практическая значимость работы.

Первая глава представляет собой аналитический обзор, охватывающий классификацию современных авиационных ТЗИМ, анализ свойств стекловолокна и связующих компонентов (органических и неорганических) для производства теплозвукоизоляционных материалов, проблематику гидрофобизации и обзор технологического оборудования. Четко сформулировано ключевое противоречие между необходимостью снижения массы и сохранения изоляционных свойств материала, а также значимость придания высокоэффективной гидрофобности.

Во **второй главе** подробно описаны объекты исследования и аттестованные методики, что подтверждает достоверность полученных результатов. В диссертационном исследовании квалифицированно использованы современные физико-химические методы - сканирующая электронная микроскопия и рентгеноспектральный микроанализ, газовая хромато-масс-спектрометрия и пиролитическая газовая хромато-масс-спектрометрия, рентгеноструктурный анализ, оптическая микроскопия. Для выполнения исследований применены стандартизованные методы определения теплофизических, механических, акустических свойств и пожарной безопасности.

Третья глава посвящена детальному исследованию состава и свойств зарубежного аналога Microlite AA blankets. Методами сканирующей электронной микроскопии и газовой хромато-масс-спектрометрии установлено, что он состоит из слоев хаотично расположенного стекловолокна с органическим связующим на основе карбамидомодифицированной фенолформальдегидной смолы с добавлением кремнийорганических соединений. Выявлено высокое влагопоглощение материала Microlite AA blankets - 72,6 %. Это исследование позволило корректно определить целевые ориентиры для разработки нового материала, с акцентом на улучшение гидрофобности.

В **четвертой главе** обоснован выбор аэрационного метода формования как наиболее щадящего и позволяющего получать ТЗИМ плотностью менее

10 кг/м³. Автором разработана оригинальная экспериментальная установка для аэрационного осаждения волокон, авторские права защищены патентом. Установлено влияние расхода воздуха на плотность получаемого материала, что является важной технологической закономерностью.

Пятая глава является ключевой с точки зрения разработки состава связующего. Проведено всестороннее исследование четырех марок формальдегидных смол. С использованием комплекса методов (термический анализ, измерение краевого угла, оптическая микроскопия в поляризованном свете, рентгеновская дифракция) установлено, что наилучшим комплексом свойств (адгезия, низкое влагопоглощение, образование упрочняющей кристаллической фазы) обладает карбамидомодифицированная фенолформальдегидная смола марки Фенотам Н210М. На ее основе, с добавлением гидрофобизатора 136-41 и стабилизирующих добавок, разработано связующее марки ВС-74 (выпущены ТИ и ТУ). Показано, что образцы на новом связующем в 3,5 раза превосходят импортный аналог по гидрофобности.

В шестой главе впервые построена физически обоснованная математическая модель, описывающая зависимость коэффициента теплопроводности от плотности волокнистого материала в диапазоне 5-35 кг/м³. Сходимость модели с экспериментом превышает 98%. Модель позволила установить, что основной вклад в рост теплопроводности при снижении плотности вносят конвекция и радиационный перенос. Теоретически и экспериментально подтверждено пороговое значение плотности 9 кг/м³, ниже которого теплоизоляционные свойства материала резко ухудшаются. Этот результат имеет фундаментальное значение для проектирования подобных материалов.

В седьмой главе на основе проведенных исследований разработана и оптимизирована технология получения нового ТЗИМ марки ВТИ-29. Установлены оптимальные параметры: расход связующего 20 мл/г волокна, температура отверждения 160°C в течение 150 мин. Проведены комплексные

испытания разработанного материала. Показано, что ВТИ-29 обладает плотностью $9,0 \text{ кг/м}^3$, теплопроводностью $0,050 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$, что соответствует уровню лучших аналогов. Важным достижением является снижение сорбционной влажности до $22,2\%$, что в 3 раза лучше показателя Microlite AA blankets и превосходит гидрофобность АТМ-1. Материал также демонстрирует высокое звукопоглощение на частотах свыше 800 Гц , соответствует строгим нормам НЛГ 25 по пожаробезопасности и не вызывает коррозии авиационных материалов. Разработана нормативная документация (ТИ, ТУ), материал включен в спецификацию перспективного воздушного судна.

Достоверность результатов и обоснованность выводов

Достоверность полученных результатов обеспечена использованием современных, взаимодополняющих и стандартизованных методов исследования, применением поверенного оборудования, а также статистической обработкой экспериментальных данных (более 200 образцов). Выводы логично вытекают из результатов экспериментов и хорошо согласуются с данными литературных источников. Основные результаты работы опубликованы в 6 научных работах, включая журналы из перечня ВАК и издания, индексируемые в Scopus и Web of Science, и прошли апробацию на международных конференциях.

Замечания и вопросы по диссертационной работе

1. Для производства АТМ-1 применяют волокно из стекла №20, которое отличается повышенной химической стойкостью. Состав стекла для производства импортного аналога не приведен в тексте. Исследования выполнены на основе алюмоборосиликатных стекловолокон типа Е. Требуется ли химическая стойкость уровня состава стекловолокна № 20 для ТЗИМ авиационного назначения нового поколения или достаточно стойкости стекловолокна типа Е?

2. Не выполнен анализ отечественных производителей стекловолокнистых материалов и отсутствуют технические требования по

выбору вида стекловолоконного материала для промышленного выпуска нового теплозвукоизоляционного ВТИ-29. Проводилась ли оценка экономической эффективности и себестоимости нового материала ВТИ-29 по сравнению с замещаемыми аналогами?

3. Измерение краевого угла смачивания проводилось на гладком предметном стекле, при этом реальные стеклянные волокна имеют развитую поверхность, микрошероховатости и кривизну, что значительно влияет на смачивание волокон связующим. Корректно ли переносить значения КУС, полученные на плоской модели, на процесс пропитки волокон?

4. В тексте диссертации встречаются отдельные опечатки и стилистические погрешности, не влияющие на понимание сути работы.

Указанные замечания не снижают научную и практическую значимость диссертационной работы.

Заключение о соответствии диссертации требованиям ВАК

Диссертационная работа Салимова Ильи Эркиновича является законченной научно-квалификационной работой, в которой решена актуальная научно-техническая задача создания нового гибкого теплозвукоизоляционного материала низкой плотности с улучшенными эксплуатационными характеристиками для авиационной промышленности. Работа выполнена на высоком научном и техническом уровне, обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и имеет важное практическое значение.

Диссертация соответствует паспорту научной специальности 2.6.11. «Технология и переработка синтетических и природных полимеров и композитов» (пп. 1, 2, 5, 6) и отвечает требованиям пп. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г., предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор, Салимов Илья Эркинович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по научной

специальности 2.6.11. – Технология и переработка синтетических и природных полимеров и композитов.

Даю свое согласие на обработку персональных данных согласно приказу Минобрнауки РФ от 01.07.2015 г. № 662.

Официальный оппонент:

Генеральный директор

АО «НПО Стеклопластик»,

доктор технических наук



Трофимов Андрей Николаевич

25.09.2026 г.

Акционерное общество «НПО Стеклопластик имени Н.Н. Трофимова»

Адрес организации: 141551, Россия, Московская область, г.о. Солнечногорск, пгт. Андреевка, к. 3А/4.

Телефон: +7(495)536-06-94, +7(495)653-75-00 (факс).

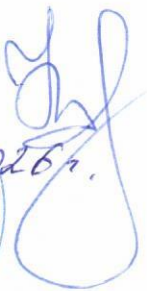
Электронная почта: info@npostek.ru

Подпись Трофимова А.Н. удостоверяю

Ученый секретарь

АО «НПО Стеклопластик»,

доктор технических наук



Демина Н.М.