

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе МАИ
доцент, доктор технических наук



Иванов А.В.

03

2026

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» 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

Одной из проблем эксплуатации современных летательных аппаратов является высокий уровень структурного шума внутри салона и кабины экипажа, возникающего от вибрации элементов конструкции планера и двигателя, негативным образом влияющего на состояние пассажиров и летного состава. Другой проблемой в конструкциях салона самолета является обеспечение комфортной для пассажиров температуры, которая обеспечивается использованием материалов с низкой теплопроводностью. Для решения указанных проблем, салон самолета экранируют от материалов корпуса фюзеляжа самолета специальными гибкими теплоизоляционными конструкциями, представляющими собой пористые волокнистые или ячеистые слоистые материалы, упакованные в герметичные пленочные пакеты

из полимерных материалов, обеспечивающих защиту пористых материалов от действия влаги в процессе эксплуатации .

Диссертационная работа Салимова И.Э. посвящена разработке технологии отечественного гибкого теплозвукоизоляционного материала (ТЗИМ) низкой плотности, не превышающей значений $7-15 \text{ кг/м}^3$, обладающего низкой теплопроводностью, которая позволяет обеспечить требуемый градиент температур при меньшей толщине материала, соответствие авиационным правилам по пожарной безопасности, пониженную сорбционную влажность и высокие звукоизоляционные свойства, которые в салоне не должны превышать значений $80-85 \text{ дБ}$.

Кроме этого разрабатываемые составы материалов должны обеспечить импортозамещение зарубежных аналогов и снятых с производства отечественных ТЗИМ .

Таким образом, разработка технологии и ТЗИМ нового состава, сочетающего гибкость, низкую плотность (менее 10 кг/м^3), высокие теплозвукоизоляционные показатели, гидрофобность и пожаробезопасность, является **актуальной задачей** современного материаловедения и технологии их переработки.

Научная новизна диссертационной работы

Научная новизна диссертационной работы заключается в следующем:

1. Впервые построена физически обоснованная математическая модель, с высокой точностью (менее 2% расхождения) описывающая зависимость теплопроводности волокнистых материалов от плотности материала в диапазоне $5-35 \text{ кг/м}^3$.

2. С использованием разработанной модели и экспериментальных данных впервые установлено и обосновано эффективное пороговое значение плотности (9 кг/м^3) для стекловолокна средним диаметром 1 мкм , обеспечивающее требуемый уровень тепло- и звукоизоляции разработанных материалов.

3. Установлены закономерности влияния химической природы и состава синтетических смол на комплекс физико-механических и гидрофобных свойств высокопористых стекловолоконистых ТЗИМ, что позволило научно обосновать выбор исходных компонентов для создания связующего, превосходящего зарубежные аналоги по гидрофобным свойствам.

Практическая значимость диссертационной работы

Практическая значимость работы подтверждена разработкой и внедрением конкретных технологических решений:

1. Создана и запатентована лабораторная установка для аэрационного осаждения коротких стеклянных волокон и связующих, обеспечивающих их скрепление и получение низкоплотных гибких ТЗИМ. Разработаны составы (Технологические инструкции и Технические условия) на связующее марки ВС-74 и гибкий теплозвукоизоляционный материал марки ВТИ-29.

2. Новый материал ВТИ-29, обладающий улучшенными гидрофобными и звукопоглощающими свойствами, включен в спецификацию перспективного отечественного воздушного судна, что подтверждает его высокую готовность к внедрению в авиационную промышленность.

Практическая значимость результатов исследований автора диссертации подтверждена инновационными решениями в области разработки технологии создания многофункционального материала, сочетающего высокую гибкость материала, обеспечивающего его монтаж на плоских и криволинейных поверхностях конструкций современных и перспективных отечественных летательных аппаратов, предельно низкую плотность, высокое звукопоглощение, устойчивость к действию открытого пламени, низкие показатели коэффициента теплопроводности, влагопоглощения и отсутствие коррозионной активности к алюминиевым, титановым сплавам, а также конструкционным сталям. К этим разработкам относятся проектирование и изготовление экспериментальной установки

изготовления высокопористых нетканых материалов путем аэроционного осаждения стеклянных волокон и связующих, создание и исследование технологичности отверждающихся связующих на основе фенолоформальдегидных смол, обеспечивающих скрепление волокон в волокнистом каркасе ТЗИМ с сохранением его гибкости.

Разработанные автором технологии изготовления ТЗИМ и полученные результаты исследования взаимосвязи состава и структуры на показатели их эксплуатационных свойств, могут быть использованы в разработке учебных пособий для подготовки специалистов по направлению «Материаловедение и технологии материалов» и аспирантов по направлению «Материаловедение» и «Технология и переработка синтетических и природных полимеров и композитов», а также в системе повышения квалификации и переподготовки специалистов технических отраслей народного хозяйства.

Структура диссертационной работы

Диссертация состоит из введения, семи глав, выводов и списка литературы из 150 источников. Работа изложена на 161 странице, содержит 38 рисунков и 11 таблиц, что полностью отражает объем проведенных исследований. Структура работы логична и последовательна: от анализа литературных данных и исследования зарубежного аналога ТЗИМ к разработке собственного технологического оборудования, синтезу связующего для высокопористого стекловолокнистого материала, разработке технологии и комплексному исследованию его свойств.

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

Первая глава представляет собой литературный обзор. Автор не просто перечисляет существующие материалы, а проводит их глубокую классификацию, выделяя достоинства и недостатки. Особого внимания

заслуживает анализ влияния параметров стекловолокна (диаметр, ориентация) на функциональные свойства ТЗИМ, а также рассмотрение механизмов теплопереноса в пористых средах. В разделе, посвященном связующим системам, автор рассматривает развитие от традиционных фенолформальдегидных смол к современным экологически чистым биосмолам, а также анализирует проблемы их гидрофобизации. Завершается глава обзором технологического оборудования, что позволило автору обоснованно выбрать аэрационный метод формования как наиболее перспективный для получения низкоплотных волокнистых материалов. Обзор свидетельствует о способности автора к критическому анализу научно-технической информации по теме диссертационной работы.

Во **второй главе** подробно описаны объекты и методы исследования. К несомненным достоинствам работы следует отнести использование широкого спектра современных и взаимодополняющих физико-химических методов исследования: сканирующая электронная микроскопия (СЭМ) с рентгеноспектральным микроанализом (РСМ), газовая хромато-масс-спектрометрия (ГХ-МС) и пиролитическая газовая хромато-масс-спектрометрия (ПГХ-МС) для идентификации органических компонентов, рентгеноструктурный анализ (РСА), оптическая микроскопия в поляризованном свете (ОМП), метод «сидячей» капли для измерения краевого угла смачивания связующих плоских поверхностей неорганических стекол. Все механические, теплофизические, акустические испытания и испытания на пожаробезопасность проведены в соответствии с действующими ГОСТ и международными стандартами (ISO), что обеспечивает высокую достоверность и воспроизводимость полученных результатов исследований. Применение статистической обработки данных (свыше 200 образцов) подтверждает корректность сделанных выводов.

Третья глава посвящена тщательному анализу объекта импортозамещения – материала Microlite AA blankets, который по комплексу

функциональных свойств является аналогом разработанного в диссертации ТЗИМ.

Проведенные исследования в этой главе выполнены на о высоком современном уровне. Методом СЭМ детально изучена микроструктура материала, установлена слоистость и хаотичное расположение волокон в слоях. Элементный анализ позволил идентифицировать состав материала. Наибольший интерес представляют результаты ГХ-МС и ПГХ-МС, которые позволили не просто констатировать наличие органического связующего, а идентифицировать его компоненты: карбамидоформальдегидные смолы, а также кремнийорганические соединения (полидиметилсилоксаны). Важнейшим выводом является обнаружение высокого влагопоглощения (72,6%), предположительно из-за гидрофильного аппрета на основе крахмала. Это исследование позволило точно определить цели для разработки нового ТЗИМ – сохранить прочность, гибкость и плотность аналога, но кардинально улучшить его гидрофобность.

Четвертая глава носит ярко выраженный инженерно-технологический характер. Автор экспериментально доказывает непригодность «мокрого» метода получения сверхнизких плотностей и обосновывает выбор технологии аэрационного осаждения коротких стеклянных волокон для формирования ТЗИМ требуемой плотности и толщины. Практическая значимость результатов выполненных работ и представленных в данной главе, является и патентование (пат. РФ № 2817837) оригинальной лабораторной установки производства ТЗИМ. Принципиальная новизна установки заключается в разделении камер диспергирования и осаждения, пневматическом способе разделения волокон и возможности послойного нанесения связующего. Исследование влияния расхода воздуха на плотность (диапазон 0,19-0,63 м³/с) позволило определить условия формирования пористой волокнистой структуры материала с требуемой плотностью 9 кг/м³.

Пятая глава посвящена разработке и исследованию технологичности связующих для скрепления стеклянных волокон в аэрационном способе

формирования структуры ТЗИМ требуемой плотности. Автор проводит систематические исследования четырех марок смол. Им изучены:

1. Кинетика отверждения, потери массы и выход твердого продукта при отверждении различных смол.

2. Методами ОМП и РСА исследована структура отвержденных смол. Установлено, что после отверждения, смола «Фенотам Н210М» при отверждении образует твердый монолитный материал, обладающий мелко глобулярной структурой. После отверждения, смола СФЖ-3024 растрескивается, по-видимому, в результате остаточных напряжений, вызванных усадочными процессами при формировании сетчатой структуры полимера. Результаты дифракционных исследований свидетельствуют об аморфном характере структуры исследованных смол в отвержденном состоянии. Измерены краевые углы смачивания выбранными смолами плоских образцов модельных составов стекол, аналогов стеклянным волокнам ТЗИМ. Установлено, что смола «Фенотам Н210М» обладает лучшей смачиваемостью стекла, чем КМФ-С, что должно придавать связующему на основе смолы «Фенотам Н210М» высокую способность формирования спаек, скрепляющих волокна в каркасе ТЗИМ и равномерно распределяться по поверхности волокон.

3. Исследовано влагопоглощение отвержденных смол, и установлено, что наилучший результат (0,6% влажности, 6,5% влагопоглощения за 24 ч и 15,4 % за 72 ч) наблюдается у сетчатых полимеров на основе смолы марки «Фенотам Н210М» .

На основе полученных результатов автором выбран исходный компонентный состав и синтезировано связующее ВС-74, включающее смолу «Фенотам Н210М», гидрофобизатор 136-41, аммиак, ацетон и борную кислоту. Аммиак и ацетон выступают в роли стабилизаторов, а борная кислота нейтрализует щелочь и обладает бактерицидными свойствами. **Шестая**

глава имеет высокую значимость для научно обоснованного выбора структуры ТЗИМ, обеспечивающего требуемый уровень теплоизоляционных

свойств. Автор не ограничился экспериментальным измерением теплопроводности разработанного материала, а разработал его физически обоснованную модель. Исходя из предположения, что теплопроводность складывается из теплопроводностей твердого каркаса и газа, процессов конвекции и излучения, и что вклад газа и твердого каркаса в диапазоне плотностей 5-35 кг/м³ постоянен, автор строит дифференциальное уравнение третьего порядка, описывающее изменение вкладов конвекции и излучения с плотностью каркаса. Решение уравнения в виде суммы двух экспонент с погрешностью менее 2 % аппроксимирует экспериментальные данные. Модель доказывает, что рост теплопроводности при снижении плотности обусловлен конвекцией и радиационным переносом, и, что самое важное, позволяет определить пороговую плотность - 9 кг/м³.

Седьмая глава посвящена разработке технологии изготовления низкоплотного, гибкого ТЗИМ, присвоения ему марки ВТИ-29 и исследованию его эксплуатационных свойств. Автором установлен наиболее рациональный состав исходных компонентов материала - 20 мл. связующего на 1 г волокна, температуру их совмещения 20°C и отверждения связующего: 160°C, 150 мин.

Кроме этого, им проведен полный цикл испытаний ТЗИМ марки ВТИ-29 и получены следующие результаты:

- Плотность 9,0 кг/м³ – соответствует лучшим аналогам зарубежных и отечественных ТЗИМ;
- Теплопроводность 0,050 Вт/м·К – на уровне аналогов;
- Сорбционная влажность 22,2% – в 3,3 раза лучше Microlite AA blankets и в 1,35 раза лучше АТМ-1;
- Звукопоглощение превосходит аналоги на частотах >800 Гц;
- Пожаробезопасность полностью соответствует нормам НЛГ 25 приложения F части VI;
- Коррозионная агрессивность отсутствует.

Разработана нормативная документация (ТИ, ТУ), подана заявка на получения патента на состав и способ получения ТЗИМ. Материал ВТИ-29 включен в спецификацию перспективного воздушного судна, что является безусловным подтверждением его практической значимости и готовности к внедрению.

Достоверность и обоснованность результатов

Достоверность полученных результатов не вызывает сомнений и обеспечена использованием комплекса современных, взаимодополняющих и стандартизованных методов исследования (СЭМ, РСМ, ГХ-МС, ПГХ-МС, РСА, ОМП, методы определения физико-механических, теплофизических и акустических свойств по ГОСТ и ISO) и применением поверенного и сертифицированного оборудования, включая электронные микроскопы, хромато-масс-спектрометры, импедансные трубы разрывные машины. В работе приведен анализ значительного объема экспериментальных данных (более 200 образцов) с использованием методов математической статистики и расчетом доверительных интервалов. Полученные данные хорошо согласуются между собой в рамках различных методов исследования и не противоречат фундаментальным представлениям о теплопереносе в пористых средах.

Основные результаты доложены на авторитетных международных конференциях, включая XXII Менделеевский съезд, и опубликованы в 6 рецензируемых научных изданиях, в том числе входящих в перечень ВАК и базы Scopus/WoS.

Основные замечания по работе

1. Автором в выводах по литературному обзору научных и практических достижений в области технологии и материаловедения современных авиационных теплозвукоизоляционных материалов **не приведены** научная цель и задачи выбранного направления диссертационной работы согласно паспорта специальности 2.6.11.

2. В главе 2 автором указаны марки, технические условия и стандарты компонентов разрабатываемых объектов без указания их молекулярного строения (смолы, гидрофобизирующие жидкости) и состава (неорганические стекла и волокна) и не приводятся показатели их свойств, что затрудняет анализ влияния свойств компонентов на свойства разрабатываемого ТЗИМ.

Автором выбрано стекловолокно типа Е и марки МБ-СТВ-1.0 ТУ в-11-541-83, которое по своей сути представляет теплоизоляционные маты, изготавливаемые Новгородским предприятием стекловолокна. Это потребует от автора при проектировании установки изготовления ТЗИМ с повышенными характеристиками эксплуатационных свойств аэродинамическим методом, разработать узел распушения исходного мата, чтобы получить индивидуальные стеклянные волокна.

3. Для изучения смачиваемости разработанными связующими поверхности с стеклом автором выбран метод сидячей капли на плоских поверхностях, что было бы корректнее изучать этот процесс непосредственно на волокнах. В описании методик исследования отсутствует метод определения адгезии связующих к стеклянным волокнам, однако во втором выводе диссертации автор указывает на повышенную адгезию смолы Фентом Н 210.

4. Автором не изучено влияние вибрации на состав, структуру и свойства разработанного ТЗИМ. Известно, что циклические температурные и вибрационные нагрузки приводят к абразивному истиранию волокон в местах их совместного контакта, приводящего к уменьшению диаметра волокна на 15-20% и увеличению теплопроводности на 10-15%, что определяет долговечность и надежность ТЗИМ в процессе эксплуатации.

5. При анализе результатов изучения структуры отвержденных смол, автором ошибочно указывается на возможность формирования кристаллической структуры сетчатых полимеров на основе смолы СФЖЧ-3024.

6. При оформлении, в работе встречаются опечатки и не точности, например, на стр. 121 текста диссертации при рассмотрении влияния плотности материала вместо слова «теплоизоляция» автор употребил слово «теплозащита», а вместо термина «остаточные напряжения» - термин «внутренние напряжения» стр. 106. Отсутствует разброса экспериментальных значений свойств, например на рис.25 и 27, при изучении процессов отверждения выбранных смол.

Однако высказанные замечания не снижают ценности работы Салимова Ильи Эркиновича «Гибкий теплозвукоизоляционный материал низкой плотности на основе стекловолокна», которая соответствует специальности 2.6.11. «Технология и переработка синтетических и природных полимеров и композитов»

Заключение о соответствии диссертации требованиям ВАК

Диссертационная работы Салимова Ильи Эркиновича «Гибкий теплозвукоизоляционный материал низкой плотности на основе стекловолокна», содержит научную новизну и практическую значимость, соответствующую паспорту специальности 2.6.11. «Технология и переработка синтетических и природных полимеров и композитов» и охватывает следующие направления исследований, предусмотренные паспортом:

- физико-химические основы технологии синтетических и природных полимеров, разработка рецептуры...
- полимерные материалы и изделия..., свойства синтетических полимеров..., исследования в направлении прогнозирования состав-свойства, технологии изготовления изделий и процессы, протекающие при этом...
- физико-химические основы процессов, происходящих в материалах на стадии изготовления изделий ...
- оборудование технологии получения и переработки синтетических полимеров, волокон и композитов.

- полимерное материаловедение; разработка принципов и условий направленного контролируемого регулирования состава и структуры полимерных материалов для обеспечения заданных технологических и эксплуатационных характеристик синтетических полимерных материалов и изделий ...

Основные результаты диссертации опубликованы в 6 научных публикациях, включая 5 публикаций в изданиях, включенных в перечень ВАК РФ, 1 публикация в изданиях, индексируемых в международной базе данных Web of Science, и 1 патенте

Автореферат и опубликованные по теме диссертационного исследования работы полностью раскрывают ее основное содержание.

Диссертационная работа Салимова Ильи Эркиновича является целостным, логически завершенным научно-квалификационным трудом, в котором на основании выполненных автором исследований решена актуальная научно-техническая проблема, имеющая важное хозяйственное значение – создан и внедрен в спецификацию перспективного изделия новый гибкий теплозвукоизоляционный материал с уникальным комплексом свойств, превосходящий существующие аналоги по гидрофобности и звукопоглощению.

По актуальности, уровню и объему проведенных исследований, глубине анализа, научной новизне и практической значимости диссертационная работа полностью соответствует требованиям пп. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г., предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а также паспорту научной специальности 2.6.11. – «Технология и переработка синтетических и природных полимеров и композитов».

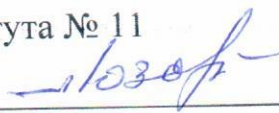
Автор работы, **Салимов Илья Эркинович**, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.6.11.

Автор работы, **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».

Отзыв составлен коллективом секции «Технологии композиционных материалов, конструкций и микросистем», возглавляемой профессором, доктором технических наук Бабаевским Петром Гордеевичем.

Отзыв заслушан и одобрен на заседании НТС Института № 11, Протокол № 6/26 от 10.03.2026 года. На заседании присутствовало 6 членов НТС, 12 преподавателей и 18 аспирантов института. Результаты голосования «ЗА», единогласно.

Председатель НТС института № 11

Профессор, д.т.н.  А.А. Лозован

Сведения о ведущей организации:

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» (МАИ)

Адрес: 125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4.

Телефон: +7 (499) 158-92-09.

E-mail: mai@mai.ru

Сайт: <https://mai.ru/>