

**Заключение диссертационного совета 31.1.002.01, созданного на базе федерального государственного унитарного предприятия «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» (НИЦ «Курчатовский институт» - ВИАМ), Российская Федерация, по диссертации на соискание ученой степени кандидата наук**

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от «16» апреля 2026 г. № 6

О присуждении Салимову Илье Эркиновичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Гибкий теплозвукоизоляционный материал низкой плотности на основе стекловолокна» по научной специальности 2.6.11. Технология и переработка синтетических и природных полимеров и композитов принята к защите «12» февраля 2026 г. (протокол заседания № 3) диссертационным советом 31.1.002.01, созданным на базе федерального государственного унитарного предприятия «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», Российская Федерация, 105005, г. Москва, ул. Радио, д. 17, приказ Минобрнауки России от 24.10.2022 г. № 1363/нк «О выдаче разрешения на создание совета по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук на базе федерального государственного унитарного предприятия «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Национального исследовательского центра «Курчатовский институт».

Соискатель Салимов Илья Эркинович, «22» августа 1988 г.р. В 2011 году соискатель окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», присвоена квалификация Физик по специальности «Физика». В 2025 году был прикреплен к федеральному государственному унитарному

предприятию «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» для подготовки диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.6.11. Технология и переработка синтетических и природных полимеров и композитов без освоения программы подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре. Справка о сдаче кандидатских экзаменов выдана НИЦ «Курчатовский институт» - ВИАМ (№2025/14 от 15.07.2025).

Салимов Илья Эркинович с 2021 г. по 2025 г. работал в должности инженера, с 2025 г. работает ведущим инженером в федеральном государственном унитарном предприятии «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» в лаборатории № 629 «Волокна тугоплавких соединений, волокнистые высокотемпературные теплоизоляционные, теплозащитные и керамические композиционные материалы».

Диссертация выполнена в федеральном государственном унитарном предприятии «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», Российская Федерация в лаборатории № 629 «Волокна тугоплавких соединений, волокнистые высокотемпературные теплоизоляционные, теплозащитные и керамические композиционные материалы».

Научный руководитель - кандидат технических наук Беспалов Александр Сергеевич начальник сектора лаборатории № 626 федерального государственного унитарного предприятия «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Национального исследовательского центра «Курчатовский институт».

Официальные оппоненты:

- Трофимов Александр Николаевич, доктор технических наук, генеральный директор акционерного общества «НПО Стеклопластик имени Н.Н. Трофимова»;

- Солдатов Михаил Александрович, кандидат химических наук, доцент кафедры «Химической технологии полимерных композиционных лакокрасочных материалов и покрытий» федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация - федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» в своем положительном отзыве, подписанном профессором, председателем НТС института № 11, доктором технических наук Лозованом Александром Александровичем и утвержденном проректором по научной работе МАИ, доктором технических наук, доцентом Ивановым Андреем Владимировичем указала, что 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, а ее 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.

Соискатель имеет 11 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 6 научных работ, из них в рецензируемых изданиях опубликовано 5 работ, 1 включена в международные базы данных

Scopus и Web of Science, отражающих основное содержание работы. Получен 1 патент РФ и подана 1 заявка на изобретение.

В опубликованных работах содержатся основные научные и практические результаты, изложенные в диссертационной работе соискателя. Все работы выполнены в соавторстве. Личный вклад соискателя состоит в непосредственном участии в постановке задач, проведении экспериментальных исследований, сборе и интерпретации данных, разработке научно-технической документации.

Список основных трудов по теме диссертации опубликованных в изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России:

1. И.Э. Салимов, А.С. Беспалов, В.Г. Бабашов, В.Г. Максимов. Исследование влияния химического состава смол марок Фенотам Н210, Фенотам Н210М, КМФ-С, СФЖ-3024 на их физико-химические свойства // Труды ВИАМ. 2024. № 2 (132). Ст. 09. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 23.07.2025). DOI: 10.18577/2307-6046-2024-0-2-84-91.

2. В.В. Антипов, И.Э. Салимов, А.С. Беспалов, В.Г. Бабашов. Исследование влияния состава связующего на плотность, физико-механические и гидрофобные свойства теплозвукоизоляционного материала // Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн. 2024. № 9 (139). Ст. 03. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения 05.08.2025.). DOI: 10.18577/2307-6046-2024-0-9-25-32.

3. А.С. Беспалов, И.Э. Салимов, А.В. Юдин. Придание высоких гидрофобных свойств высокопористому керамическому материалу низкоконцентрированными растворами фторпарафина в среде сверхкритического диоксида углерода // Авиационные материалы и технологии. 2025. № 1. С. 39-48. DOI: 10.18577/2713-0193-2025-0-1-39-48.

4. И.Э. Салимов, А.С. Беспалов, В.Г. Бабашов, А.А. Шаркалов. Исследование эксплуатационных свойств теплозвукоизоляционного материала марки ВТИ-29 // Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн. 2025. № 6 (148). Ст. 05. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения 11.08.2025.). DOI: 10.18577/2307-6046-2025-0-6-64-72.

5. А.С. Саврицкий, П.С. Мараховский, И.Э. Салимов, В.Г. Бабашов  
Исследование зависимости теплопроводности от плотности низкоплотного  
теплозвукоизоляционного материала на основе стеклянных волокон // *Авиационные материалы и технологии: электрон. науч.-технич. журн.* 2025.  
№ 5. Ст. 13. URL: <http://www.journal.viam.ru> (дата обращения 05.11.2025).  
DOI: 10.18577/2713-0193-2025-0-3-149-160.

Публикации, индексируемые базами Web of science и Scopus:

1. Н.М. Варрик, И.Э. Салимов, В.Г. Бабашов, А.А. Шавнев.  
Связующие для материалов на основе стеклянных и минеральных волокон  
(обзор) // *Новые огнеупоры.* 2023. № 8. С. 60-65. DOI: 10.17073/1683-4518-  
2023-8-60-65.

Патент Российской Федерации:

1. Устройство для получения нетканого теплоизоляционного  
материала: пат. 2817837 РФ / В.Г. Бабашов, А.С. Бондаренко, Э.П. Гурьев,  
Р.А. Куянов, И.Э. Салимов; патентообладатель НИЦ «Курчатовский  
институт» – ВИАМ. – № 2023119229; заявл. 20.07.2023; опубл. 22.04.2024,  
Бюл. № 12. – С. 13.

Заявка на изобретение:

1. Гибкий теплозвукоизоляционный волокнистый материал /  
В.Г. Бабашов, А.С. Бондаренко, А.С. Беспалов, А.А. Шаркалов, И.Э.  
Салимов; патентообладатель НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ. №  
2024130034; заявл. 04.10.2024 – С. 11.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. Отзыв на диссертацию ведущей организации - федеральное  
государственное бюджетное образовательное учреждение высшего  
образования «Московский авиационный институт (национальный  
исследовательский университет)», подписан профессором, председателем  
НТС института № 11, доктором технических наук Лозованом Александром  
Александровичем и утвержден проректором по научной работе МАИ,  
доктором технических наук, доцентом Ивановым Андреем Владимировичем.  
Отзыв заслушан и одобрен на заседании НТС института № 11, протокол  
№ 6/26 от 10 марта 2026 г. Отзыв положительный.

Имеются замечания:

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

– 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.

– для изучения смачиваемости разработанными связующими поверхности стекол 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 Фенотам Н 210М.

– 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.

– при анализе результатов изучения структуры отвержденных смол, автором ошибочно указывается на возможность формирования кристаллической структуры сетчатых полимеров на основе смолы СФЖ-3024.

– при оформлении, в работе встречаются опечатки и неточности, 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 разброс экспериментальных значений свойств, например, на рис. 25 и 27, при изучении процессов отверждения выбранных смол.

2. Отзыв на диссертацию официального оппонента - Трофимова Александра Николаевича, доктора технических наук, генерального директора акционерного общества «НПО Стеклопластик имени Н.Н. Трофимова». Отзыв положительный.

Имеются замечания:

– 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?

– не выполнен анализ отечественных производителей стекловолокнистых материалов и отсутствуют технические требования по выбору вида стекловолокнистого материала для промышленного выпуска нового теплозвукоизоляционного ВТИ-29. Проводилась ли оценка экономической эффективности и себестоимости нового материала ВТИ-29 по сравнению с замещаемыми аналогами?

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

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

3. Отзыв на диссертацию официального оппонента - Солдатова Михаила Александровича, кандидата химических наук, доцента кафедры химической технологии полимерных композиционных лакокрасочных материалов и покрытий федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева». Отзыв положительный.

Имеются замечания:

– для более полной характеристики связующего в главе 3, стоило бы также провести анализы методами ЯМР и ИК-спектроскопии, которые дополнительно помогли бы установлению химического состава используемого связующего в импортном аналоге.

– непонятен выбор жидкости ПФМС в качестве гидрофобизатора, поскольку из-за наличия фенильных звеньев, данное соединение не обладает достаточно низкими значениями поверхностной энергии по сравнению с метилльными и этильными силоксановыми жидкостями, такими как ПМС, ПЭС, ГКЖ-94 или используемая в работе ГКЖ-136-41.

– на стр. 96 диссертации, автор утверждает, что разработанная установка позволяет получать в непрерывном режиме ТЗИМ. Несмотря на теоретическую возможность данное утверждение стоило бы подкрепить несколькими экспериментами, демонстрирующими данную возможность, поскольку для непрерывного процесса оптимальные условия для нанесения и отверждения связующих могут значительно отличаться и быть более труднодостижимыми.

– при исследовании различных типов связующих было показано, что некоторые из них склонны после отверждения образовывать кристаллическую фазу. Поскольку изначально в силу своей разветвлённой структуры резольные и карбамидо- и меламиноформальдегидные олигомеры не склонны к кристаллизации, стоило бы более подробно изучить природу данного явления.

– исследование по зависимости углов смачивания от времени, приведённые на стр. 106-107 не совсем корректны, поскольку с течением времени помимо растекания капли одновременно протекают процессы испарения воды из капли, экстракции водорастворимых соединений из отверждённого связующего в каплю и сорбции воды в возможных порах на поверхности связующего.

– при исследовании физико-механических свойств автор не указал толщину используемых ТЗИМ. Также она нигде не указана в экспериментальной части. Между тем, от данной величины могут сильно зависеть некоторые свойства, например гибкость (наименьший радиус изгиба).

Отзывы на автореферат:

1. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова», подписан доцентом факультета фундаментальной физико-химической инженерии, кандидатом физико-математических наук Назиным Сергеем Сергеевичем. Отзыв положительный.

Имеются замечания:

– модель хорошо описывает суммарную зависимость, но не позволяет однозначно разделить вклады конвекции и излучения без дополнительных допущений о соотношении коэффициентов  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $k_1$ ,  $k_2$ . Физический смысл этих коэффициентов мог бы быть раскрыт более подробно.

– модель построена для диапазона плотностей 5-35 кг/м<sup>3</sup>. Чем обоснована верхняя граница в 35 кг/м<sup>3</sup>? Почему не исследована область

более высоких плотностей, где может начать доминировать теплопроводность твердого каркаса?

2. Акционерное общество «Авиакор – авиационный завод», подписан техническим директором Блажюком Андреем Александровичем. Отзыв положительный.

Имеются замечания:

– в составе данной работы указаны результаты натурных измерений коэффициента звукопоглощения материала в зависимости от разной толщины. Полученные результаты используемых образцов показывают характеристики значительно хуже, чем у иностранных объектов аналогов, что свидетельствует о возможности дальнейшей оптимизации, разработанной конструкции ТЗИМ в целях улучшения эксплуатационных свойств.

– в опубликованной работе не раскрыт вопрос о безопасности применения данного материала при выполнении демонтажно-монтажных работ, его гигиенических свойствах по отношению к человеку.

– перечень контролируемых параметров не достаточен для формирования полноценной аналитической информации по сравнению с другими испытываемыми материалами.

– для полученного материала не установлены критерии утилизации отработанного материала как технологического отхода по классам опасности.

– не приведены расчеты долговечности (полезных сроков эксплуатации) в различных микроклиматических параметрах, при которых будет эксплуатироваться ВС с данным типом ТЗИМ.

– не детализирована информация о порядке технологической оклейки ВС с использованием данного типа ТЗИМ (подготовка поверхности, использование соответствующих клеев и т.д.).

3. Филиал публичного акционерного общества «Объединенная авиастроительная корпорация» - оперативно-тактическая авиация. Опытно-конструкторское бюро Сухого, подписан главным конструктором материалов и технологий – начальником НИО-21, кандидатом технических наук, Филатовым Андреем Анатольевичем и начальником отдела 21, Скрипкиным Дмитрием Валерьевичем. Отзыв положительный, без замечаний.

4. Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»», подписан главным научным сотрудником ОРМиТ КК НБИКС-ПТ, доктором физико-математических наук, Приходько Кириллом Евгеньевичем. Отзыв положительный.

Имеется замечание:

– не является ли пороговое значение  $9 \text{ кг/м}^3$  зависимым от диаметра волокон, и как изменится это значение при использовании волокон другого диаметра (например, 2 или 3 мкм)?

5. Акционерное общество «Научно-исследовательский институт технического стекла им. В.Ф.Солинова» (АО «НИТС им. В.Ф.Солинова»), подписан ученым секретарем, кандидатом технических наук Киселевой Татьяной Борисовной. Отзыв положительный.

Имеется замечание:

– в автореферате не рассмотрены возможные области применения материала за пределами авиации (например, железнодорожный транспорт, судостроение, строительство).

6. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики твердого тела имени Ю. А. Осипяна Российской академии наук (ИФТТ РАН), подписан главным научным сотрудником лаборатории физики высоких давлений Антоновым Владимиром Евгеньевичем. Отзыв положительный.

Имеется замечание:

– в названии диссертации не упоминается рекордная гидрофобность разработанного материала, хотя это и является одним из ярких результатов проведенного исследования.

7. Акционерное общество «Национальный центр вертолетостроения им. М.Л. Миля и Н.И. Камова», подписан главным конструктором по направлению НКЦ ПП ВКЛА, кандидатом технических наук Гришко Александром Анатольевичем. Отзыв положительный.

Имеется замечание:

– учитывая новизну разработанного материала, результаты проведенных исследований было бы неплохо дополнить прогнозом срока службы при типовых условиях эксплуатации.

8. Акционерное общество «Объединенная двигателестроительная корпорация» филиал «Научно-исследовательский институт технологии и организации производства двигателей», подписан директором филиала, доктором технических наук Павлиничем Сергеем Петровичем и начальником лаборатории разработки неметаллических конструкционных материалов, кандидатом химических наук Петуховым Андреем Александровичем. Отзыв положительный.

Имеются замечания:

– в разделе «Научная новизна», п.1, и в разделе «Выводы», п.5, представляется сомнительным заявленное в качестве новизны установление основных причин теплопроводности низкоплотных волокнистых материалов в виде конвективного и радиационного механизмов передачи тепла. Аналогичные выводы, хотя бы на качественном уровне, приводились ранее во многих обзорах и статьях различных авторов, посвящённым высокопористым теплоизоляционным материалам на основе тонких волокон.

– в разделе «Научная новизна», п.2, и в разделе «Выводы», п.5, вызывает сомнение установление эффективного порогового значения плотности материала в  $9 \text{ кг/м}^3$ , с точки зрения оптимизации по теплопроводности, поскольку практически такое же значение плотности имеют ранее созданные материалы-аналоги Microlite AA blankets и АТМ-1. Имеющееся различие в плотности несущественно влияет на теплопроводность, судя по графикам, приведённым на рисунке 5.

– раздел «Личный вклад соискателя» изложен так, что создаётся впечатление о единоличном выполнении им всех перечисленных там работ и исследований. При этом, согласно списку публикаций, например, у патента на установку для получения материала 5 соавторов, у статьи об исследовании зависимости теплопроводности от плотности материала 4 соавтора, и т.д.

– в описании 7 главы обсуждается сравнение уровня звукопоглощения разработанного материала ВТИ-29 с материалами Microlite

AA blankets и АТМ-1 со ссылкой на рисунок 7, на котором данные для материала Microlite AA blankets не приводятся.

– Представленные на рисунке 2 фотографии требуют, на наш взгляд, более подробных пояснений и комментариев.

9. Публичное акционерное общество «Яковлев», подписан заместителем начальника отдела планера, кандидатом технических наук Барановски Сергеем Владиславовичем. Отзыв положительный.

Имеется замечание:

– в качестве замечания можно отметить отсутствие испытаний ТЗИМ марки ВТИ-29 на соответствие требованиям на прогорание (НЛГ 25 приложение F часть VII), что не позволяет использовать данный материал в нижней части фюзеляжа без огнезащитной облицовки.

10. Акционерное общество «Обнинское научно-производственное предприятие «Технология» им. А.Г. Ромашина», подписан начальником лаборатории разработки и испытаний электроизоляционных и теплоизоляционных материалов, кандидатом технических наук Томчани Ольгой Васильевной. Отзыв положительный.

Имеются замечания:

– предпочтительность использования физических единиц в системе СИ при изложении работы (в системе СИ показателем теплоизоляционных свойств является «теплопроводность», а не «коэффициент теплопроводности»).

– дискуссионным положением является утверждение о том, что одной из основных причин увеличения теплопроводности при заявляемом размере пор в материале ~15 мкм является конвекционный перенос тепла, который, как правило, вносит свой вклад при значительно большем размере пор. В теплоизоляционных материалах с мелкопористой структурой условия исключения конвективного теплопереноса считаются обеспеченными.

– в качестве компонента связующего, обеспечивающего гидрофобность, интересно было бы исследовать силазаны, обладающие преимуществами в обеспечении влагозащиты перед силоксанами.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается следующим:

– доктор технических наук, генеральный директор акционерного общества «НПО Стеклопластик имени Н.Н. Трофимова» Трофимов Александр Николаевич, является признанным специалистом в области инновационных композиционных материалов, химии и технологии производства стекловолокна и стеклопластиков. Он автор более 200 научных публикаций и патентов. Под руководством Трофимова А.Н. разработаны технологии уникальных полимерных композиционных материалов, которые позволили решить ряд специальных задач оборонной техники, судостроения, авиационной и ракетно-космической техники.

– кандидат технических наук, доцент кафедры «Химической технологии полимерных композиционных лакокрасочных материалов и покрытий» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева» Солдатов Михаил Александрович, является одним из ведущих специалистов в области элементоорганических полимеров. Используя классические методы органической и кремнийорганической химии, получил ряд новых фторсодержащих кремнийорганических сополимеров, являющихся перспективными гидрофобизаторами для полимерных матриц, а также поверхностными модификаторами для углеродных нанотрубок. Также имеет опыт получения функциональных пористых материалов на основе силсесквиоксанных и циклофосфазеновых блоков.

– Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» является одним из ведущих образовательных и научных центров Российской Федерации по исследованиям и разработкам в области новых технологий и материалов в авиационной и космической промышленности. Исследования в данной области отражены в публикациях сотрудников ведущей организации.

Список основных публикаций сотрудников ведущей организации за последние 5 лет:

1. Григоровский В.В., Зубко А.А., Никитин П.В., Сучкова П.И. Повышение теплозащитных характеристик углерод-углеродных композитов методом нанесения покрытия низкотемпературным сверхзвуковым гетерогенным потоком // Тепловые процессы в технике. 2024. Т.16, № 12. С. 570-576.

2. Кобрин М.Р., Цивадзе А.Ю., Фридман А.Я., Хайрутдинова Д.Р., Бурова А.Ю., Бабайцев А.В., Булычев Н.А. Условия формирования структуры пористых гибридных материалов из целлюлозной ткани и макромолекулярных N-замещенных циклических аминоацетатов с привитыми микрочастицами аэросила // Журнал физической химии. 2025. Т. 99, № 5. С. 759-762. DOI: 10.31857/S0044453725050101.

3. Резниченко В.И. Использование базальтопластика для изготовления звукопоглощающих панелей для железных дорог и строительства // Вестник РАЕН. 2022. Т. 22, № 4. С. 129-133. DOI: 10.52531/1682-1696-2022-22-4-129-133.

4. Белявский А.Е., Кудрявцева Н.С. Экспериментальное определение теплофизических свойств гибридной структуры на основе графита // Инженерно-физический журнал. 2023. Т. 96, № 5. С. 1392-1397.

5. Орехов А.А., Рабинский Л.Н., Федотенков Г.В. Фундаментальные решения уравнений классической и обобщенной моделей теплопроводности // Ученые записки Казанского университета. Серия: Физико-математические науки. 2023. Т. 165, № 4. С. 404-414. DOI 10.26907/2541-7746.2023.4.404-414.

6. Кузнецова Е.Л., Орехов А.А., Формалев В.Ф. Тепломассоперенос в анизотропных теплозащитных композиционных материалах в условиях аэродинамического нагрева // Ученые записки Казанского университета. Серия: Физико-математические науки. 2024. Т. 166, № 4. С. 555-565. DOI 10.26907/2541-7746.2024.4.555-565.

7. Gulyaev A.I., Sbitneva S.V. The Evolution of the Adhesive Strength of a Fiber Matrix in Fiberglass Plastics under the Influence of Climatic Factors //

8. Рабинский Л.Н., Шумская С.А., Калягин М.Ю. Численные методы оценки физико-механических характеристик пористых композиционных материалов // СТИН. 2024. № 12. С. 38-40.

9. Ломакин Е.В., Лурье С.А., Рабинский Л.Н. Структура и механические свойства композитов с высокими демпфирующими свойствами // Доклады Российской академии наук. Физика, технические науки. 2023. Т. 510, № 1. С. 70-76. DOI 10.31857/S2686740023030136.

10. Карташов Э.М., Крылов С.С. Аналитические решения краевых задач теплопроводности со свободной границей // Тепловые процессы в технике. 2023. Т. 15, № 10. С. 456-467.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

**разработана** технология получения теплозащитного материала, оборудование для его получения, математическая модель, описывающая зависимость коэффициента теплопроводности от плотности волокнистых материалов в области низких плотностей от 5 до 35 кг/м<sup>3</sup>, обеспечивающая сходимость теоретических и экспериментальных данных более 98 %;

**предложены** оригинальные подходы к созданию гибкого теплозвукоизоляционного материала низкой плотности, включающие способ послойного аэрационного осаждения стеклянных волокон с одновременным нанесением связующего и выбор многокомпонентного связующего на основе карбамидомодифицированной фенолформальдегидной смолы с гидрофобизирующей добавкой;

**доказано** наличие порогового значения плотности (9 кг/м<sup>3</sup>) для нетканых материалов на основе стекловолокна средним диаметром 1 мкм, ниже которого происходит значительное ухудшение теплоизоляционных свойств из-за вклада конвекции и радиационного переноса тепла;

**введены** новые технологические режимы получения гибкого теплозвукоизоляционного материала (температура нанесения связующего 20±5 °С, расход раствора связующего 144 л на 1 м<sup>3</sup> материала, температура

отверждения 160 °С с выдержкой 150 мин), обеспечивающие высокие гидрофобные и физико-механические свойства.

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:**

**доказаны** закономерности изменения физико-механических и гидрофобных свойств теплозвукоизоляционных материалов от состава связующего, что позволило обосновать выбор компонентов для получения материала, превосходящего аналоги по гидрофобным и звукоизоляционным свойствам; применительно к проблематике диссертации результативно **использован** комплекс современных взаимодополняющих методов исследования: сканирующая электронная микроскопия, рентгеноспектральный микроанализ, газовая хромато-масс-спектрометрия, оптическая микроскопия в поляризованном свете, рентгеноструктурный анализ, измерение контактного угла смачивания, а также стандартизованные методы определения теплофизических, акустических и пожаробезопасных свойств;

**изложены** особенности смачивания поверхности стекла карбамидомодифицированной фенолформальдегидной смолой и карбамидмеламиноформальдегидной смолой, показано, что первая имеет меньший контактный угол смачивания;

**раскрыты** особенности процессов отверждения формальдегидных смол при различных температурных режимах и изучены структуры отверждённых смол, установлены режимы, обеспечивающие наиболее полное протекание реакции поликонденсации и минимальное количество дефектов;

**изучены** зависимости коэффициента теплопроводности от плотности волокнистых материалов в области низких плотностей (5-35 кг/м<sup>3</sup>) при температурах 0, 30 и 70 °С, определен вклад конвективной и радиационной составляющих в общий перенос тепла;

**проведена модернизация** существующих методов получения волокнистых теплозвукоизоляционных материалов путём создания экспериментальной установки аэрационного осаждения, позволяющей получать материалы плотностью от 7 кг/м<sup>3</sup>.

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:**

**разработаны и внедрены** состав и технология изготовления связующего марки ВС-74 (технологическая инструкция ТИ 1.595-29-1693-2023 и технические условия ТУ 20.16.56-132-07545412-2023), а также состав и технология изготовления гибкого волокнистого теплозвукоизоляционного материала марки ВТИ-29 плотностью  $9,0 \pm 0,6$  кг/м<sup>3</sup> (технологическая инструкция ТИ 1.595-29-1797-2024 и технические условия ТУ 23.99.19-204-07545412-2024), материал включён в спецификацию перспективного воздушного судна;

**определены** пределы и перспективы практического использования разработанного материала марки ВТИ-29 и связующего марки ВС-74;

**определено** практическое пороговое значение плотности (9 кг/м<sup>3</sup>) для волокнистых материалов на основе стекловолокна средним диаметром 1 мкм, ниже которого происходит значительное ухудшение теплоизоляционных свойств;

**создана** экспериментальная установка для аэрационного осаждения стеклянных и керамических волокон, защищённая патентом РФ № 2817837, позволяющая получать образцы с широкой номенклатурой свойств без привязки к производству волокна;

#### **Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

достоверность полученных результатов обеспечена комплексным применением современных методов и метрологически аттестованного и поверенного оборудования для исследования структуры и свойств материалов, проведением испытаний в соответствии с требованиями ГОСТ и международных стандартов, обеспечена высокая воспроизводимость результатов на значительном (свыше двухсот) объёме образцов;

**теория** построена на известных, проверяемых положениях теплофизики, согласуется с опубликованными экспериментальными данными по теплопроводности волокнистых материалов и подтверждается полученной аналитической моделью с расхождением расчётных и экспериментальных данных не более 2 %;

**идея базируется** на анализе современного состояния авиационных теплозвукоизоляционных материалов, обобщении передового опыта

(включая исследование состава и свойств материала Microlite AA blankets) и учёте требований российских авиационных правил;

**использовано** сравнение экспериментальных данных с характеристиками импортного аналога Microlite AA blankets и отечественного аналога АТМ-1;

**установлено** качественное и количественное совпадение полученных результатов по структуре и элементному составу с данными независимых источников для аналогичных материалов на основе стекловолокна и формальдегидных связующих;

**использованы** современные методики сбора и обработки исходной информации, включая статистическую обработку экспериментальных данных, микроскопические (сканирующая электронная микроскопия, оптическая микроскопия в поляризованном свете), хромато-масс-спектрометрические и рентгеноструктурные методы анализа.

**Личный вклад соискателя заключается в** постановке целей и задач исследования, выборе методов исследования, проведении анализа литературных и патентных источников, исследовании состава и свойств материала Microlite AA blankets (США), разработке экспериментальной установки для аэрационного осаждения стеклянных и керамических волокон, отработке режимов получения гибких волокнистых ТЗИМ, исследовании особенностей процессов отверждения смол, разработке состава и технологии изготовления связующего, изготовлении и исследовании свойств образцов ТЗИМ, построении математической модели, описывающей зависимость коэффициента теплопроводности от плотности волокнистых материалов в области низких плотностей от  $5 \text{ кг/м}^3$  до  $35 \text{ кг/м}^3$ , разработке состава и технологии изготовления гибкого ТЗИМ низкой плотности на основе стекловолокна, обобщении и анализе полученных данных, подготовке публикаций и представлении результатов работы.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания:

1. С чем связан выбор волокна с диаметром 1 мкм?
2. Каково воздействие на экологию?

3. Известна ли технология производства и оборудования для получения зарубежного материала Microlite?

4. Какой выигрыш, с Вашей точки зрения, имеет по отношению к зарубежным машинам разработанное Вами и запатентованное оборудование?

5. Можно ли ввести температуру как дополнительный параметр в Вашу модель?

6. Обычно теплозвукоизоляционные материалы в виде матов поставляются в облицовке. Какой материал Вы будете рекомендовать для облицовки?

7. Производятся ли исходные компоненты на территории России в достаточном объеме для промышленного выпуска материала?

8. В работе не изучено влияние вибрации на состав, структуру и свойства разработанного теплозвукоизоляционного материала. 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 теплозвукоизоляционного материала в процессе эксплуатации.

9. Одинаковы ли прочностные характеристики материала в различных направлениях?

Соискатель Салимов И.Э. ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию:

1. Чем ниже диаметр, тем будет лучший коэффициент звукопоглощения, с одной стороны. С другой стороны, это массовое выпускаемое волокно, которое мы можем купить у нескольких поставщиков.

2. При работе необходимо использовать средства индивидуальной защиты органов дыхания. А по воздействию на экологию нет особой разницы между волокном диаметром 1 мкм и 3 мкм. Волокна с диаметром более 5 мкм считаются относительно безопасными, но это уже довольно большой диаметр и показатели звукопоглощения и теплопроводности могут заметно испортиться. И как мы показывали в нашей модели, с ростом диаметра волокна будет происходить смещение порогового значения в  $9 \text{ кг/м}^3$ , после которого теплоизоляционные свойства резко ухудшаются, в сторону

больших плотностей, и, соответственно, придет делать материал большей плотности.

3. При производстве материала Microlite используется более сложная установка, чем у нас. Тонкие слои из стекловолокна аккуратно укладываются в стопку.

4. Разработанная нами установка проще и дешевле во много раз.

5. Температуру как параметр ввести в уравнение можно, но от этого модель не будет описывать экспериментальные значения лучше, но добавит дополнительные сложности при аппроксимации.

6. На данный момент для испытаний мы использовали облицовку из стеклолакоткани марки СТФ-Б, но ведутся работы по разработке нового термосвариваемого огнестойкого облицовочного материала, который мы и будем рекомендовать.

7. Исходные компоненты на территории России производятся в достаточном объеме для промышленного выпуска материала. У нас даже возникла проблема, что производитель смолу не хочет нам поставлять маленькими партиями. Полиэтилгидросилоксан тоже производят в достаточном количестве.

8. Данные испытания планируется провести в рамках паспортизации материала и, вероятно, будут отображены в научных публикациях.

9. Нет. В продольном направлении прочность материала на много выше, чем в поперечном направлении.

В диссертационной работе все заимствованные источники представлены со ссылками на автора или источник.

На заседании «16» апреля 2026 г. диссертационный совет принял решение за создание научно обоснованных технологических и технических средств и подходов к разработке нового гибкого теплозвукоизоляционного материала низкой плотности на основе стекловолокна с улучшенными гидрофобными и звукоизоляционными свойствами, что имеет существенное значение для импортозамещения и обеспечения технологического суверенитета Российской Федерации в области критических материалов для гражданской авиации, присудить Салимову И.Э. ученую степень кандидата технических наук.

