

«УТВЕРЖДАЮ»

Генеральный директор

НИЦ «Курчатовский институт» - ВИАМ

С.В. Яковлев



« 11 » 11 2025 г.

М.П.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

федерального государственного унитарного предприятия «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Национального исследовательского центра «Курчатовский институт»

Диссертация Салимова Ильи Эркиновича на тему «Гибкий теплозвукоизоляционный материал низкой плотности на основе стекловолокна» выполнена в лаборатории № 629 «Волокна тугоплавких соединений, волокнистые высокотемпературные теплоизоляционные, теплозащитные и керамические композиционные материалы» научно-исследовательского отделения «Неметаллические материалы, металлические композиционные материалы и теплозащита» федерального государственного унитарного предприятия «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» (НИЦ «Курчатовский институт» - ВИАМ).

В период подготовки диссертации соискатель Салимов Илья Эркинович работал в федеральном государственном унитарном предприятии «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» (НИЦ «Курчатовский институт» - ВИАМ) в лаборатории № 629 «Волокна тугоплавких соединений, волокнистые высокотемпературные теплоизоляционные, теплозащитные и керамические композиционные

материалы» инженером, ведущим инженером.

Салимов Илья Эркинович, 1988 года рождения, в 2011 году окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», присвоена квалификация Физик по специальности «Физика». Справка о сдаче кандидатских экзаменов выдана НИЦ «Курчатовский институт» - ВИАМ (№2025/14 от 15.07.2025).

Научный руководитель – Беспалов Александр Сергеевич, кандидат технических наук, начальник сектора лаборатории № 626 НИЦ «Курчатовский институт» - ВИАМ.

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

**Оценка выполненной соискателем работы.**

Диссертационная работа Салимова И.Э. является научно-квалификационной работой, в которой решены важные научно-практические задачи:

1. Разработана и изготовлена экспериментальная установка для аэрационного осаждения стеклянных и керамических волокон. На разработанную установку получен патент RU 2817837 С1 от 22.04.2024 г. «Устройство для получения нетканого теплоизоляционного материала».

2. Установлена взаимосвязь между структурой и свойствами смол марок Фенотам Н210, Фенотам Н210М, КМФ-С и СФЖ-3024. Показано, что наилучшим комплексом свойств (мелкозернистая структура, способствующая упрочнению; низкие влажность (0,6 %) и сорбционная влажность (6,5 % и 15,4 % при выдержке в течение 24 ч и 72 ч соответственно), повышенные адгезия к стеклу и смачиваемость поверхности стекла по сравнению со смолами Фенотам Н210, КМФ-С и СФЖ-3024) обладает карбомидомодифицированная смола Фенотам Н210М.

3. Установлены зависимости изменения физико-механических и гидрофобных свойств гибкого волокнистого ТЗИМ низкой плотности от состава связующего. Показано, что наилучшим комплексом свойств обладают образцы

ТЗИМ, полученные с применением связующего на основе карбамидомодифицированной ФФ смолы марки Фенотам Н210М с добавлением полиэтилгидросилоксана (гидрофобизирующей жидкости марки 136-41) в качестве гидрофобизатора: плотность –  $9,0 \pm 0,1$  кг/м<sup>3</sup>, гибкость – 15 мм, упругость –  $92,8 \pm 1,4$  %, влажность –  $0,5 \pm 0,1$  %, сорбционная влажность в течение 30 суток –  $14,4 \pm 5,6$  %, предел прочности при растяжении –  $1,33 \pm 0,07$  кПа.

4. Разработаны состав и технология изготовления связующего, обеспечивающего высокую гибкость, низкую плотность, пожаробезопасные и гидрофобные свойства. Выпущены технологическая инструкция ТИ 1.595-29-1693-2023 «Изготовление связующего марки ВС-74 для теплозвукоизоляционных материалов на основе стеклянных и керамических волокон» и технические условия ТУ 20.16.56-132-07545412-2023 «Связующее марки ВС-74 для теплозвукоизоляционных материалов на основе стеклянных и керамических волокон. Технические условия».

5. Построена физически обоснованная модель, описывающая зависимость коэффициента теплопроводности от плотности ВМ в области низких плотностей от 5 кг/м<sup>3</sup> до 35 кг/м<sup>3</sup>. Расхождение расчетных и экспериментальных данных составляет не более 2 %. Установлено, что основными причинами увеличения коэффициента теплопроводности при низких плотностях волокнистых материалов (до 25 кг/м<sup>3</sup>) в диапазоне температур 0-70 °С являются конвекция и радиационный перенос тепла. Определено значение плотности равное 9 кг/м<sup>3</sup>, ниже которого происходит значительное ухудшение теплозащитных свойств волокнистых материалов.

6. Разработаны состав и технология изготовления гибкого волокнистого ТЗИМ низкой плотности. Выпущена нормативная документация на гибкий волокнистый ТЗИМ на основе стекловолокна: ТИ 1.595-29-1797-2024 «Изготовление гибкого теплозвукоизоляционного волокнистого материала марки ВТИ-29 на основе стекловолокна» и ТУ 23.99.19-204-07545412-2024 «Гибкий теплозвукоизоляционный волокнистый материал

марки ВТИ-29 на основе стекловолокна». Составлена заявка на изобретение № 2024130034 от 04.10.2024 г. на гибкий теплозвукоизоляционный волокнистый материал. Разработанный ТЗИМ марки ВТИ-29 включен в спецификацию перспективного воздушного судна.

7. Показано, что ТЗИМ марки ВТИ-29 по потере массы при 70 °С и 168 ч выдержки, плотности, теплопроводности, и пожаробезопасным свойствам не уступает материалам Microlite AA blankets и АТМ-1. А по сорбционной влажности и коэффициенту звукопоглощения при частотах, превышающих 800 Гц, превосходит их. Также ТЗИМ марки ВТИ-29 не вызывает коррозию сплавов цветных и черных металлов.

#### **Личное участие соискателя в получении результатов, изложенных в диссертации:**

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 теплозвукоизоляционных материалов, исследовании особенностей процессов отверждения смол, разработке состава и технологии изготовления связующего, изготовлении и исследовании свойств образцов теплозвукоизоляционных материалов, построении математической модели, описывающей зависимость коэффициента теплопроводности от плотности волокнистых материалов в области низких плотностей от 5 кг/м<sup>3</sup> до 35 кг/м<sup>3</sup>, разработке состава и технологии изготовления гибкого теплозвукоизоляционного материала низкой плотности на основе стекловолокна, обобщении и анализе полученных данных, подготовке публикаций и представлении результатов работы.

#### **Степень достоверности результатов проведенных исследований.**

Достоверность полученных в работе результатов подтверждается использованием стандартизованных методов испытаний, метрологически

аттестованного, поверенного современного оборудования, статистической обработкой значительного (свыше двухсот образцов) объема экспериментальных данных.

### **Новизна результатов проведенных исследований.**

1. Впервые построена физически обоснованная математическая модель, описывающая зависимость коэффициента теплопроводности от плотности волокнистых материалов в области низких плотностей от  $5 \text{ кг/м}^3$  до  $35 \text{ кг/м}^3$ , обеспечивающая сходимость теоретических и экспериментальных данных более 98 %. Установлено, что основными причинами увеличения коэффициента теплопроводности при низких плотностях (до  $25 \text{ кг/м}^3$ ) волокнистых материалов в диапазоне температур  $0-70 \text{ }^\circ\text{C}$  являются конвекция и радиационный перенос тепла.

2. На основе построенной математической модели установлено и экспериментально подтверждено эффективное пороговое значение плотности гибких материалов на основе стекловолокна средним диаметром  $1 \text{ мкм}$  равное  $9 \text{ кг/м}^3$ , при котором коэффициент теплопроводности соответствует современным требованиям авиастроения.

3. Установлены закономерности изменения свойств теплозвукоизоляционных материалов от состава связующего, что позволило обосновать выбор состава многокомпонентного связующего, обеспечивающего получение гибкого волокнистого теплозвукоизоляционного материала, превосходящего зарубежный и отечественный аналоги по гидрофобным и звукоизоляционным свойствам.

### **Практическая значимость проведенных исследований.**

На основе выполненных исследований были получены следующие практические результаты:

1. Впервые построена физически обоснованная математическая модель, описывающая зависимость коэффициента теплопроводности от плотности волокнистых материалов в области низких плотностей от  $5 \text{ кг/м}^3$  до  $35 \text{ кг/м}^3$ , обеспечивающая сходимость теоретических и экспериментальных данных более

98 %. Установлено, что основными причинами увеличения коэффициента теплопроводности при низких плотностях (до  $25 \text{ кг/м}^3$ ) волокнистых материалов в диапазоне температур  $0-70 \text{ }^\circ\text{C}$  являются конвекция и радиационный перенос тепла.

2. На основе построенной математической модели установлено и экспериментально подтверждено эффективное пороговое значение плотности гибких материалов на основе стекловолокна средним диаметром  $1 \text{ мкм}$  равное  $9 \text{ кг/м}^3$ , при котором коэффициент теплопроводности соответствует современным требованиям авиастроения.

3. Установлены закономерности изменения свойств теплозвукоизоляционных материалов от состава связующего, что позволило обосновать выбор состава многокомпонентного связующего, обеспечивающего получение гибкого волокнистого теплозвукоизоляционного материала, превосходящего зарубежный и отечественный аналоги по гидрофобным и звукоизоляционным свойствам.

### **Ценность научных работ соискателя**

Внедрение разработанного материала марки ВТИ-29 в конструкции перспективных (МС-21, Суперджет, Ил-114 и другие) и модернизируемых воздушных судов будет способствовать достижению стратегических целей отрасли: снижению массы изоляционных систем, повышению акустического комфорта пассажиров, снижению эксплуатационных затрат, обеспечению независимости от импорта критических материалов и укреплению технологического суверенитета России в области авиастроения, особенно в условиях повышенного внимания к развитию арктических регионов и Северного морского пути. Материал марки ВТИ-29 уже включен в спецификацию перспективного воздушного судна.

Построенная математическая модель зависимости коэффициента теплопроводности от плотности волокнистых теплозвукоизоляционных материалов низкой плотности позволит прогнозировать теплозащитные свойства материалов в зависимости от их плотности и состава.

## Соответствие пунктам паспорта научной специальности

Тема и содержание диссертационной работы полностью соответствует выбранной научной специальности 2.6.11. Технология и переработка синтетических и природных полимеров и композитов и соответствует следующим пунктам паспорта научной специальности:

1. Физико-химические основы технологии синтетических и природных полимеров, разработка рецептуры; процессы синтеза (в том числе нетрадиционные) в эмульсии, суспензии, процессы в расплаве и твердой фазе, очистка готового продукта и его характеристика.

2. Полимерные материалы и изделия: пластмассы, волокна, каучуки, резины, пленки, покрытия, нетканые материалы, натуральные, искусственные и синтетические кожи, клеи, компаунды, композиты, бумага, картон, целлюлозные и прочие композиционные материалы, включая наноматериалы; свойства синтетических и природных полимеров, фазовые взаимодействия; исследования в направлении прогнозирования состав-свойства, технологии изготовления изделий и процессы, протекающие при этом; последующая обработка с целью придания специальных свойств; процессы и технологии модификации; вулканизация каучуков; сшивание пластмасс; фазовое разделение растворов; отверждение олигомеров.

3. Оборудование, машины, аппараты химической и биотехнологической технологии получения и переработки синтетических и природных полимеров, волокон и композитов.

4. Полимерное материаловедение; методы прогнозирования и прототипирования; разработка принципов и условий направленного и контролируемого регулирования состава и структуры синтетических и природных полимерных материалов для обеспечения заданных технологических и эксплуатационных свойств; разработка и совершенствование методов исследования и контроля структуры; испытание и определение физико-механических и эксплуатационных характеристик синтетических и природных полимерных материалов и изделий; теоретические и прикладные проблемы

стандартизации новых синтетических и природных полимерных материалов и технологических процессов их производства, обработки и переработки.

**Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем.**

Основные результаты диссертационной работы Салимова И.Э. опубликованы в 6 научных работах в рецензируемых журналах, из которых 5 включены в перечень ВАК при Минобрнауки России, 1 включена в международные базы данных Scopus и Web of Science, отражающих основное содержание работы. Получен 1 патент Российской Федерации и подана 1 заявка на изобретение.

*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.

Текст диссертации был проверен на использование заимствованного материала без ссылки на авторов и источники заимствования. После исключения всех корректных совпадений иных заимствований не обнаружено.

Диссертационная работа Салимова Ильи Эркиновича рекомендуется к публичной защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.6.11. «Технология и переработка синтетических и природных полимеров и композитов».

Заключение принято на заседании научно-исследовательского отделения «Неметаллические материалы, металлические композиционные материалы и теплозащита».

Присутствовало на заседании – 22 человека, в том числе с правом голоса – 15, из них докторов наук – 2, кандидатов наук – 9.

Результаты голосования: «за» – 15, «против» – 0, «воздержались» – нет.

Протокол № 44 от «11» ноября 2025 г.

**Председательствующий на заседании:**

Начальник НИО

«Неметаллические материалы,  
Металлические  
композиционные материалы и  
теплозащита», к.т.н.



Анна  
Сергеевна  
Чайникова