

СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ

Диссертационный совет: Д 212.125.10

Соискатель: Чэнь Янян

Тема диссертации: Разработка методики оптимизации технологических режимов отверждения полимерного связующего при производстве деталей летательных аппаратов из композиционных материалов

Специальность: 05.07.02 – Проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов

Решение диссертационного совета по результатам защиты диссертации:

На заседании 18 ноября 2021 года диссертационный совет пришел к выводу о том, что диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, соответствующую критериям, установленным положением о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года №842, и принял решение присудить Чэнь Янян ученую степень кандидата технических наук.

Присутствовали: председатель диссертационного совета, д.т.н. проф. Денискин Ю.И.; заместитель председателя, д.т.н. проф. Бойцов Б.В.; ученый секретарь диссертационного совета, к.т.н., доц. Денискина А.Р.; д.т.н., проф. Абашев В.М.; д.т.н., доц. Долгов О.С.; д.т.н., проф. Дудченко А.А.; д.т.н., проф. Комков В.А.; д.т.н., проф. Куприков М.Ю.; д.т.н., проф. Лисейцев Н.К.; д.т.н., проф. Подколзин В.Г.; д.ф.-м.н., проф. Рабинский Л.Н.; д.т.н., доц. Рахманов М.Л.; д.т.н., проф. Сидоренко А.С.; д.т.н., проф. Туркин И.К.; д.т.н., проф. Фирсанов В.В.; д.т.н., проф. Шайдаков В.И.

Председатель
диссертационного совета Д 212.125.10
д.т.н., профессор

Ю.И. Денискин

Учёный секретарь
диссертационного совета Д 212.125.10
к.т.н., доцент

А.Р. Денискина

Начальник
Т.А.



ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.125.10,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ «МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 18 ноября 2021 г. протокол № _____

О присуждении **Чэнь Янян**, гражданке Китайской Народной Республики, учёной степени кандидата технических наук.

Диссертация «Разработка методики оптимизации технологических режимов отверждения полимерного связующего при производстве деталей летательных аппаратов из композиционных материалов» по специальности 05.07.02 «Проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов» принята к защите 06 сентября 2021 г. (протокол заседания № 14) диссертационным советом Д212.125.10, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д.4, А-80, ГСП-3, приказ о создании диссертационного совета № 714/нк от 02 ноября 2012 г.

Соискатель Чэнь Янян, 16 октября 1991 года рождения.

В 2017 году соискатель с отличием окончила федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» по направлению подготовки 24.04.01 «Ракетные комплексы и космонавтика». В период 2017-2021 г. проходила обучение в аспирантуре на кафедре «Ракетно-космические композитные

конструкции» (СМ-13) по направлению подготовки 22.06.01 «Технологии материалов», направленность – Материаловедение.

Соискатель является аспирантом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)».

Диссертация выполнена на кафедре СМ-13 «Ракетно-космические композитные конструкции» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)».

Научный руководитель – доктор технических наук **Малышева Галина Владленовна**, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», кафедра СМ-13 «Ракетно-космические композитные конструкции», профессор.

Официальные оппоненты:

Комаров Валерий Андреевич, доктор технических наук, профессор, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева», научно-образовательный центр авиационных конструкций, директор; кафедра конструкции и проектирования летательных аппаратов, профессор,

Бобин Константин Николаевич, кандидат технических наук, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный технический университет», кафедра самолёто- и вертолётостроения, доцент

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н. Туполева-КАИ», г. Казань, в своём положительном отзыве, подписанном Халиулиным Валентином Илдаровичем, доктором технических наук, профессором, заведующим кафедрой производства летательных аппаратов, указала, что диссертационная работа выполнена на высоком научном уровне, результатом работы является решение актуальной задачи в области совершенствования технологических процессов производства деталей летательных аппаратов из полимерных композиционных материалов.

Отмечено, что диссертация содержит новые научные результаты в области управления технологическими процессами отверждения. Впервые установлены закономерности между степенью отверждения эпоксидного связующего и его теплофизическими свойствами. Указано, что разработанная методика позволяет осуществлять идентификацию степени отверждения и оптимизировать технологические параметры. Указано, что достоверность полученных результатов подтверждается результатами теоретических и экспериментальных исследований в МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Работа отвечает требованиям пунктов 9-14 «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённого постановлением правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук, а её автор Чэнь Янъян заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.07.02 – Проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов.

Соискатель имеет 16 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 16 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 3 работы, 8 – в изданиях, индексируемых в Scopus.

Научные публикации соискателя посвящены:

- методологии оценки кинетических параметров процесса отверждения полимерных композиционных материалов на основе эпоксидных связующих;

- методологии определения влияния масштабного фактора на кинетику процесса отверждения;
- методологии определения теплофизических характеристик эпоксидных связующих в процессе их отверждения;
- применению методики оптимизации технологических режимов отверждения при производстве деталей летательных аппаратов из композиционных материалов.

Авторский вклад заключается в разработке и применении методики оптимизации, что позволило усовершенствовать технологические режимы отверждения полимерного связующего. Полученные автором результаты развивают теоретические и методологические основы управления качеством на этапе производства продукции из полимерных композиционных материалов.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем учёной степени работах.

Перечень работ в рецензируемых изданиях:

1. Чэнь, Янян, Пье, Пху Маунг, Малышева, Г.В. Определение кинетики отверждения деталей из полимерных композиционных материалов на основе эпоксидных связующих / Чэнь Янян, Пье Пху Маунг, Г.В. Малышева // Тепловые процессы в технике. – 2020. – Т. 12, № 4. – С. 185-191.
2. Чэнь, Янян, Пье, Пху Маунг, Малышева, Г.В. Исследование влияния масштабного фактора на кинетику процесса отверждения деталей из полимерных композиционных материалов / Чэнь Янян, Пье Пху Маунг, Г.В. Малышева // Тепловые процессы в технике. – 2020. – Т. 12, № 9. – С. 424-431.
3. Чэнь, Янян, Пье, Пху Маунг, Малышева, Г.В. Исследование кинетики процесса отверждения тонкостенной конструкции из углепластика / Чэнь Янян, Пье Пху Маунг, Г.В. Малышева // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Серия «Машиностроение». – 2020. – № 5. – С. 58-70.

Другие публикации:

1. Chen, Yangyang, Malysheva, G.V. Method for determining the rational regimes of curing products from polymer composite materials / Yangyang Chen, G.V. Malysheva // *Materials Today: Proceedings*. – 2019. – No. 11. – pp.128-133.
2. Chen, Yangyang, Nelyub, V.A., Malysheva, G.V. An investigation of the kinetics of the heating process for parts made of carbon fiber in the process of curing / Yangyang Chen, V.A. Nelyub, G.V. Malysheva // *Polymer Science, Series D*. – 2019. – Vol. 12, No.3. – pp. 296-299.
3. Chen, Yangyang, Malysheva, G.V. An optimization technique for technological modes of thermoset binder hardening / Yangyang Chen, G.V. Malysheva // *Polymer Science, Series D*. – 2019. – Vol. 12, No. 4. – pp. 367-371.
4. Chen, Yangyang, Gorodetskii, M.A., Nelyub, V.A., Malysheva, G.V. Algorithm for the optimization of the technological conditions of forming epoxy-matrix-based composites / Yangyang Chen, M.A. Gorodetskii, V.A. Nelyub, G.V. Malysheva // *Russian Metallurgy (Metally)*. – 2019. – No. 13. – pp. 1369-1372.
5. Chen, Yangyang, Malysheva, G.V. Optimization of curing mode of epoxy resin based composites / Yangyang Chen, G.V. Malysheva // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. – 2019. – Vol. 683, No. 1. – p. 012065.
6. Chen, Yangyang, Pyi, Phyo Maung, Malysheva, G.V. Simulation of the curing process of glass fiber reinforced epoxy composites / Yangyang Chen, Maung Pyi Phyo, G.V. Malysheva // *AIP Conference Proceedings*. – 2019. – Vol. 2171, No. 1. – p.030018.
7. Chen, Yangyang, Pyi, Phyo Maung, Malysheva, G.V. Optimization of the technological curing modes of glass fiber reinforced composites / Yangyang Chen, Maung Pyi Phyo, G.V. Malysheva // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. – 2020. – Vol. 709, No. 2. – p. 022040.
8. Chen, Yangyang, Khudoberdin, N.I., Pyi, Phyo Maung, Malysheva, G.V. A method of evaluating the curing kinetics of epoxy-binder-based polymer composite materials / Yangyang Chen, N.I. Khudoberdin, Maung Pyi Phyo, G.V. Malysheva // *Polymer Science, Series D*. – 2020. – Vol. 13, No. 2. – pp. 164-168.

9. Чэнь, Янян, Мараховский, П.С., Малышева, Г.В. Определение теплофизических свойств эпоксидных материалов в процессе их отверждения / Чэнь Янян, П.С. Мараховский, Г.В. Малышева // Труды ВИАМ. – 2018. – № 9. – С. 119-123.
10. Нелюб, В.А., Чэнь, Янян, Малышева, Г.В. Оптимизация технологических режимов отверждения композитов, изготовленных на основе углеродной ленты с медным покрытием / В.А. Нелюб, Чэнь Янян, Г.В. Малышева // Вестник технологического университета. – 2018. – Т. 21, № 12. – С. 84-87.
11. Чэнь, Янян, Малышева, Г.В. Оптимизация технологии режима отверждения композитов на основе эпоксидных связующих / Чэнь Янян, Г.В. Малышева // Пром-Инжиниринг: Сб. тезисов докл. V Всероссийской научно-технической конференции. Москва, 2019. – С. 188-192.
12. Чэнь, Янян, Худобердин, Н.И., Малышева, Г.В. Оптимизация технологии отверждения композитов на основе эпоксидных связующих / Чэнь Янян, Н.И. Худобердин, Г.В. Малышева // Фундаментальные исследования и инновационные технологии в машиностроении: Сб. трудов VI Международной научной конференции. Москва, 2019. – С. 448-450.
13. Чэнь, Янян, Пье, Пху Маунг, Малышева, Г.В. Разработка технологии отверждения деталей из стеклопластиков на примере баллона высокого давления / Чэнь Янян, Пье Пху Маунг, Г.В. Малышева // Сб. тезисов докл. XLIV Академических чтений по космонавтике. Москва, 2020. – С. 149-151.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы. В поступивших отзывах отмечена актуальность темы диссертационной работы, дан краткий анализ работы, отмечены новизна и достоверность полученных результатов, а также их практическая значимость и рекомендации по использованию результатов. Все отзывы положительные.

Отзыв на диссертацию ведущей организации – федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н. Туполева-КАИ».

Отзыв положительный. Имеются замечания:

1. В качестве объектов исследования автор ограничился только ПКМ на основе армирующих тканых материалов, тогда как существенно большее применение при производстве деталей ЛА имеют многослойные конструкции, в том числе с наполнителем. Непонятно, возможен ли перенос результатов, полученных автором на иные типы конструкций.

2. В работе не учтено влияние технологических погрешностей, связанных с нарушением схем армирования и непонятно, будут ли предложенные автором методики эффективны в этих случаях.

3. Для отверждения образцов и деталей ЛА из ПКМ автор использовал только один тип оборудования – электрическую печь France Etuves серия XU112, тогда как на производстве для этих целей применяется самое различное оборудование и было бы целесообразно рассмотреть его влияние.

4. В качестве связующего выбрана лишь одна система, нет анализа влияния природы связующего на результаты оптимизации. Непонятен принцип выбора связующего, логичнее было бы рассмотреть современные связующие, используемые при производстве летательных аппаратов.

5. Нет сравнительного анализа с коммерчески доступными программными обеспечениями ESI, ANSYS, ABAQUS и др., позволяющими проводить оптимизацию температурно-временных параметров процесса формования с учётом теплофизических параметров системы.

Данные замечания не снижают высокий уровень диссертационной работы и носят рекомендательный характер для организации дальнейших исследований.

Отзыв на диссертацию официального оппонента Комарова Валерия Андреевича – доктора технических наук, профессора, директора научно-образовательного центра авиационных конструкций, профессора кафедры конструкции и проектирования летательных аппаратов федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего

образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева».

Отзыв положительный. Имеются замечания:

1. Задача оптимизации в работе сформулирована недостаточно чётко. Работа читалась бы гораздо легче, если бы эта задача была сформулирована в терминах нелинейного математического программирования с чётким указанием целевой функции, проектных переменных и ограничений (стр. 83).

2. Основная рабочая формула (3.1) написана, по-видимому, с ошибкой. Последнее слагаемое, выражающее разность между некоторым временем отверждения и его «идеальным» значением, должно рассматриваться отдельно.

3. Оценка влияния высоких температур на отдельных участках конструкций в процессе полимеризации на механические характеристики композита по прочности и остаточным напряжениям не приводится, а высказана только на вербальном уровне.

4. В работе применена трудно читаемая кодировка тепловых режимов (стр. 74-79), видимо по строкам и столбцам таблица 3.6. Однако необходимые пояснения отсутствуют.

5. В работе отсутствует список условных обозначений и сокращений.

6. В примере расчёта авиационной конструкции рассмотрен по существу фрагмент подкреплённой монолитной обшивки крыла из композиционного материала. Видимо для краткости автор диссертации использует термин «стрингер», что умаляет значимость выполненного исследования.

Высказанные замечания не затрагивают существа выполненных исследований и сделанных выводов. В ряде случаев они несколько затрудняют чтение диссертации или носят характер опечаток.

Отзыв на диссертацию официального оппонента Бобина Константина Николаевича – кандидата технических наук, доцента кафедры самолёто- и вертолётостроения федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет».

Отзыв положительный. Имеются замечания:

1. Отсутствует критический анализ работ в литературном обзоре.
2. На стр. 63 формулируется, что значения градиентов температур на поверхности и в центре образца с учётом агрегатного состояния связующих выше, чем аналогичные показатели, полученные без его учёта, но не даётся объяснений почему.
3. В главе 4 хотелось бы увидеть результаты прочностных испытаний образцов, изготовленных по предлагаемой методике.
4. Хотелось бы увидеть в работе сравнение моделирования с реальными режимами полимеризации деталей из композиционных материалов.
5. В выводе 2 главы 3 говорится о разработке математической модели, позволяющей описать процесс отверждения связующих, хотя в работе никакого описания математической модели не приводилось, какие-то новые зависимости или соотношения, дополняющие существующие математические модели, не приводились.
6. Отсутствуют публикации без соавторов.
7. В научной новизне утверждается, что новая методика отверждения полимерного связующего апробирована на опытных образцах, однако в работе выполнялось лишь моделирование полимеризации на опытных образцах, не реальное изготовление.
8. Имеется большое количество орфографических ошибок с неправильным использованием окончаний слов в главе 3. Ошибки не искажают смысл передаваемого текста и для носителей русского языка не вызовут сложностей с пониманием текста, но осложняют ознакомление с работой.

Указанные замечания не снижают общей положительной оценки работы, значимость и достоверность выполненных исследований и полученных результатов.

Отзыв на автореферат диссертации АО ОНПП «Технология» им. А.Г. Ромашина, подписанный заместителем генерального директора по

науке, кандидатом технических наук Комиссаром О.Н. и директором НПК «Полимер», главным конструктором, кандидатом технических наук Шуль Г.С.

Отзыв положительный. Имеются замечания:

1. Отсутствует описание объектов исследований: не указаны составы и свойства связующих, марки и свойства используемых армирующих материалов.
2. Недостаточно раскрыты отличительные особенности разработанных методик для исследования теплофизических свойств связующих от стандартных применяемых методов.
3. В разделе 4 в результате проведения математического моделирования температурных полей, степени отверждения и интенсивности тепловыделения для процесса отверждения углепластикового стрингера крыла самолёта автором сделан неочевидный вывод о возникновении в точке 3 остаточных напряжений, в результате перегрева, но этот вывод далее в автореферате не обоснован.

Отзыв на автореферат диссертации ФГБУН «Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН», подписанный главным научным сотрудником, и.о. заведующего лабораторией безопасности и прочности композитных конструкций, доктором технических наук, профессором Полиловым А.Н.

Отзыв положительный. Имеются замечания:

1. Постановка задачи оптимизации требует формулирования функции цели и ограничений в пространстве переменных проектирования, но в работе «решение задачи оптимизации» сводится лишь к улучшению температурных режимов. Заявленная многокритериальная оптимизации (по Парето?) также не пояснена в тексте автореферата. Что под ней понимает автор?
2. Поскольку работа в основном экспериментально-теоретическая, следовало более подробно описать применённое оборудование, типы нагревателей, способы конверсии, точность поддержания температуры.
3. Недостаточно описаны свойства композиционных материалов, полученных по разработанной автором технологии, а сравнение этих свойств с

традиционными могло бы стать доказательством эффективности разработанной технологии.

Отзыв на автореферат диссертации НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, подписанный Главным научным сотрудником, доктором технических наук, профессором Петровой А.П.

Отзыв положительный. Имеются замечания:

1. В реферате отсутствует объяснение различий в экспериментальных данных, полученных разными методами на разных установках.
2. Предложенная автором математическая модель не учитывает возможного образования пор и пустот в материале в процессе отверждения при его значительных геометрических размерах.
3. В автореферате отсутствуют сведения о том, как учитывались характеристики материала тигля при измерениях теплопроводности связующего методом лазерной вспышки.
4. Неясно, как использовались в последующих расчётах приведённые в автореферате теплофизические характеристики углеродной и стеклянной тканей.
5. Имеет место ряд опечаток.

Отзыв на автореферат диссертации АО «ЦНИИСМ», подписанный помощником генерального директора по науке, доктором технических наук, профессором Страховым В.Л.

Отзыв положительный. Имеются замечания.

1. Не понятна постановка краевых задач теплопроводности в отверждаемых заготовках, какие параметры теплообмена использовались в граничных условиях на их поверхности.
2. Учитывалось ли влияние армирующего материала на кинетику полимеризации связующего.

Отзыв на автореферат диссертации ФГУП «Федеральный центр двойных технологий «Союз», подписанный начальником лаборатории, доктором технических наук Сидоровым О.И.

Отзыв положительный. Имеется замечание.

Автору диссертационной работы целесообразно показать, как выбранные оптимальные режимы отверждения композитов повышают их прочностные характеристики.

Отзыв на автореферат диссертации ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова», подписанный директором Института химии и биологии, доктором химических наук, профессором Хараевым А.М.

Отзыв положительный. Имеются замечания.

1. В автореферате нет информации по исследованию и сравнению поведения двух использованных отвердителей, которые существенно отличаются друг от друга.

2. К оформлению автореферата – имеются не заполненные страницы, обозначения в рисунках сложно воспринимаются, например, рис.9 и 14.

Отзыв на автореферат диссертации ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», подписанный доктором технических наук, профессором, заведующим кафедрой «Технология машиностроения» Братаном С.М. и кандидатом технических наук, Харченко А.О.

Отзыв положительный. Имеются замечания.

1. В общей характеристике работы целесообразно было бы сформулировать определение объекта и предмета исследования.

2. На страницах 13, 15, 17 и 19 автореферата оставлены большие пробелы в их нижней части, что неоправданно приводит к увеличению его общего объема.

Отзыв на автореферат диссертации АО «НИИГрафит», подписанный заместителем директора по науке и инновациям, кандидатом технических наук Гареевым А.Р.

Отзыв положительный. Имеются замечания.

1. Из автореферата не ясно, как определялась степень отверждения связующего.

2. Перечисляя критерии оптимизации процесса отверждения связующего, автор использует термин «значение градиента температуры», хотя на графиках, например, рис. 13, указан перепад температуры.

Выбор официальных оппонентов обосновывается их многолетним опытом, профессионализмом и компетентностью в отрасли науки, к которой относится диссертационная работа Чэнь Янян и подтверждается их научными публикациями в данной отрасли.

Комаров Валерий Андреевич имеет учёную степень доктора технических наук по специальности 05.07.02 – Проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов. За предыдущие 5 лет имеет не менее 8 научных публикаций, входящих в перечень рецензируемых научных изданий. Тематика публикаций связана с направлением исследований диссертации.

Бобин Константин Николаевич имеет учёную степень кандидата технических наук по специальности 05.07.02 – Проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов. За предыдущие 5 лет имеет не менее 6 научных публикаций, входящих в перечень рецензируемых научных изданий. Тематика публикаций связана с направлением исследований диссертации.

Вышеизложенное позволяет считать, что выбор официальных оппонентов является обоснованным, соответствует Постановлению Правительства РФ о порядке присуждения учёных степеней № 842 от 24 сентября 2013 г. и Положению о совете по защите диссертаций на соискание учёной степени кандидата наук, на соискание учёной степени доктора наук, утверждённому приказом Министерства образования и науки РФ № 1093 от 10 ноября 2017 г.

Выбор ведущей организации обоснован достижениями федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н. Туполева-КАИ» в области проектирования конструкций

летательных аппаратов и технологий их производства. Список основных публикаций сотрудников ведущей организации за последние 5 лет:

1. Минкин В.С., Репина А.В., Зиятдинов Р.Х., Шагимуллин Р.Х. Управление процессом отверждения промышленных тиоколов с помощью олигоэфиракрилатов // Научно-технический вестник Поволжья. 2020. № 4. С.7-11.
2. Халиулин В.И., Петрунина Е.С., Беззаметнова Д.М. О конструктивно-технологических решениях стержневых заполнителей из композитов для многослойных панелей. // Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. 2020. № 3. С. 117-126.
3. Самипур С.А., Халиулин В.И., Батраков В.В. Технология изготовления плетеных сетчатых конструкций летательных аппаратов // Проблемы машиностроения и автоматизации. 2020. № 2. С. 83-89.
4. Федяев В.Л., Халиулин В.И., Галимов Э.Р., Беляев А.В., Минимуллин А.Э., Куск А.О., Сироткина Л.В. Моделирование теплообмена инструмента с полимерными частицами при их вдавливании в углеродную ткань // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Материалы. Конструкции. Технологии. 2020. № 4. С. 26-32.
5. Бодунов Н.М., Халиулин В.И., Сидоров И.Н., Костин В.А. К вопросу о моделировании процесса пропитки преформы при трансферном формовании композитных изделий // Вестник Московского авиационного института. 2020. Т. 27. № 1. С. 233-245.
6. Гайфутдинов А.М., Андрианова К.А., Амирова Л.М., Амиров Р.Р. Контроль вязкости и отверждения эпоксидных связующих методом диэлектрического анализа // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. 2019. Т. 75. № 3. С. 77-80.
7. Хамидуллин О.Л., Амирова Л.Р., Андрианова К.А., Амирова Л.М. Эпоксидангидридные связующие с фосфониевым катализатором для получения изделий из композиционных материалов методом пропитки под давлением // Материаловедение. 2019. № 4. С. 39-44.

8. Батраков В.В., Петрушенко Р.Ю., Константинов Д.Ю., Хамидуллин О.Л. Влияние режимов автоклавного формования и структуры технологического пакета на пористость конструкций из композиционных материалов // Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. 2018. № 1. С. 88-92.
9. Хамидуллин О.Л., Амирова Л.М. Оптимизация режимов отверждения эпоксиангидридного связующего с новым фосфониевым катализатором на основе кинетической модели реакции // Вестник Технологического университета. 2018. Т. 21. № 2. С. 59-62.
10. Самипур С.А., Халиулин В.И., Батраков В.В. Разработка технологии изготовления композитных трубчатых элементов авиакосмического назначения методом радиального плетения // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2018. № 3. С. 90-95.
11. Амирова Л.Р., Хамидуллин О.Л., Залялова Г.М., Амирова Л.М. Оценка кинетических параметров процесса отверждения эпоксиангидридных систем методом ДСК // Известия Академии наук. Серия химическая. 2017. № 3. С. 483-487.
12. Самипур С.А., Батраков В.В., Халиулин В.И. Методика расчета параметров процесса подготовки преформы радиальным плетением // Проблемы машиностроения и надёжности машин. 2017. № 3. С. 89-95.
13. Шабалин Л.П., Сидоров И.Н., Сунгатуллин Р.Н. Моделирование процесса формообразования гибридной оболочки в углепластиковой оснастке // Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. 2017. № 4. С. 147-152.
14. Халиулин В.И., Сунгатуллин Р.Н., Батраков В.В., Сахбутдинова В.Р. Исследование процесса интенсивного формования композитных элементов беспилотного летательного аппарата // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. 2016. Т. 72. № 1. С. 67-71.
15. Дудченко А.А., Лурье С.А., Соляев Ю.О., Жаворонок С.И., Халиулин В.И., Батраков В.В. Расчёт, проектирование и технология

изготовления термостабильного композитного стержня // Конструкции из композиционных материалов. 2016. № 1 (141). С. 3-11.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработаны научно-обоснованные технологические решения по совершенствованию режимов отверждения деталей летательных аппаратов из полимерных композиционных материалов на основе эпоксидных связующих, которые позволяют обеспечить равномерность протекания процессов отверждения;

выполнен анализ материалов, технологий формования и методов моделирования процессов теплопереноса на этапе проектирования технологий отверждения при производстве деталей летательных аппаратов;

предложены оригинальные научные гипотезы для управления процессом отверждения, включающие методики учёта масштабного фактора, определения теплофизических характеристик с учётом степени конверсии связующего;

доказана перспективность использования предложенной методики оптимизации при нагреве на этапах начала и завершения процессов гелеобразования, что позволило обеспечить равномерность степени нагрева и отверждения деталей летательных аппаратов из полимерных композиционных материалов;

установлены причинно-следственные связи между теплофизическими характеристиками компонентов композиционных материалов и кинетикой процесса отверждения деталей летательных аппаратов из полимерных композитов;

получен и обобщён большой объем новых экспериментальных данных, на основании которых установлены закономерности изменения кинетики процесса отверждения углепластиков и стеклопластиков;

разработанный метод внедрён в Межотраслевом инжиниринговом центре «Композиты России» МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Новые понятия не вводились.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что установлены корреляционные зависимости между температурно-временными режимами процесса отверждения и комплексом характеристик полимерных композиционных материалов, что позволило усовершенствовать технологию производства деталей летательных аппаратов при выполнении операции отверждения.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что теоретически и экспериментально обоснованы рекомендации по оптимизации режимов отверждения деталей летательных аппаратов, изготовленных из армирующих пластиков на основе эпоксидной матрицы. Полученные выводы и рекомендации вместе с результатами практического применения внедрены в научных исследованиях и учебном процессе Межотраслевого инжинирингового центра «Композиты России» МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

- результаты получены на сертифицированном оборудовании с получением большого объёма экспериментальных данных;
- использованы математические модели, основанные на фундаментальных законах теплофизики;
- установлен высокий уровень метрологического обеспечения экспериментальных исследований;
- результаты исследований внедрены в научно-исследовательскую и учебную деятельность Межотраслевого инжинирингового центра «Композиты России» МГТУ им. Н.Э. Баумана;
- основные положения и результаты работы **опубликованы** в рецензируемых научных журналах и **доложены** на конференциях: XXII Международной научной конференции «Перспектива-2018» (г. Нальчик, 27-30 апреля 2018 г.); Всероссийской научно-технической конференции «Клеи, клеевые связующие и клеевые препреги» (г. Москва, 24 мая 2018 г.); Всероссийской научно-практической конференции «Новые технологии,

материалы и оборудование российской авиакосмической отрасли» (г. Казань, 8-10 августа 2018 г.); Международной научно-технической конференции «Современные направления и перспективы развития технологий обработки и оборудования в машиностроении», (г. Севастополь, 10-14 сентября 2018 г. и 09-13 сентября 2019 г.); 3-й международной конференции «Деформирование и разрушение композиционных материалов и конструкций» (г. Москва, 23-25 октября 2018 г.); Международной научно-технической конференции молодых учёных «Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности», (г. Могилев, Беларусь, 25-26 октября 2018 г.); XIII и XIV Всероссийской инновационной молодёжной научно-инженерной выставке «Политехника», (г. Москва, 21-24 ноября 2018 г. и 19-22 ноября 2019 г.); XLIII и XLIV Академических чтениях по космонавтике (г. Москва, 29 января-01 февраля 2019 г. и 28-31 января 2020 г.); Международной научно-технической конференции «Пром-Инжиниринг», (г. Сочи, 25-29 марта 2019 г.); VII научной молодёжной школы-конференции «Химия, физика биология: пути интеграции», (г. Москва, 17-19 апреля 2019 г.); 1-м и 2-м международных форумах по композитам «Ключевые тренды в композитах: наука и технологии» (г. Москва, 05-08 декабря 2018 г. и 20-21 ноября 2019 г.); III Международной научно-технической конференции «Современные достижения в области клеев и герметиков: материалы, сырье, технологии» (г. Дзержинск, 11-13 сентября 2019 г.); VI Международной научной конференции «Фундаментальные исследования и инновационные технологии в машиностроении» (г. Москва, 26-27 ноября 2019 г.); Международной конференции «Advanced Materials & Demanding Applications» (г. Рексэм, Великобритания, 22-26 июня 2020 г.); Международном научно-техническом семинаре, посвящённом 90-летию МАДИ (г. Москва, 21-22 октября, 2020 г.).

Личный вклад соискателя состоит в:

- непосредственном участии соискателя в научных экспериментах по определению оптимальных технологических режимов с учетом требований по кинетике процесса отверждения на базе полученных результатов теоретических

и экспериментальных исследований в области производства конструкций ЛА из композиционных материалов;

- личном участии в апробации результатов исследования по разработке и применению методики оптимизации, что позволило усовершенствовать технологические режимы отверждения полимерного связующего;

- подготовке основных публикаций по выполненной работе.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие замечания:

1. В работе недостаточно информации по свойствам используемых эпоксидных связующих и не ясно, будет ли справедлива разработанная методика для связующих иной химической структуры.

2. В работе не приведен итоговой алгоритм разработанной методики, что позволило бы конкретизировать области эффективного использования полученных автором результатов.

3. В работе не приведены механические характеристики полимерных композиционных материалов, полученных с использованием разработанной автором методики.

4. В работе недостаточно четко представлена постановка задачи оптимизации.

5. В работе не приведены эксплуатационные характеристики деталей и нет информации по концентрациям напряжений.

Соискатель Чэнь Янян ответила на высказанные замечания и вопросы и привела собственную аргументацию.

1. Я в своей работе использовала самую распространенную эпоксидиановую смолу марки ЭД-20 и два типа отвердителей, аминный (триэтилентетрамин) и ангидридный (изометилтетрагидрофталевого ангидрид), на основе которых создан большой ассортимент связующих в России и других странах, в том числе и в КНР. Такой подход к выбору компонентов эпоксидных материалов был связан с тем, что химические составы всех промышленных связующих являются закрытыми и представляют ноу-хау их разработчиков. Предложенная мною методика будет справедлива для любого состава эпоксидного связующего,

отверждение которого происходит при повышенной температуре и сопровождается экзотермическим эффектом.

2. Общий алгоритм методики оптимизации технологических режимов отверждения, разработанной в диссертационной работе, показан частями в главе 2, он касается методики определения температур и времени гелеобразования с учетом кинетики процессов нагрева и методики определения теплофизических свойств связующих с учетом изменения их агрегатного и фазового состояний, а также приведен в главе 3 и относится к методике оценки тепловых полей и степени отверждения.

3. В тексте диссертации механические характеристики композиционных материалов не приводятся, однако он есть в статьях и в текстах докладов, которые указаны в автореферате. Механические испытания были проведены для образцов углепластиков, которые изготовлены из углеродной ленты с медным покрытием и эпоксидного связующего. Было установлено, что предложенная методика позволила повысить прочность при межслоевом сдвиге на 40%, а также улучшить ряд других свойств. В том числе повысить температуру стеклования, снизить пористость.

4. Постановка задачи оптимизации основана на классической задаче многокритериального выбора при использовании двух параметров оптимизации, это скорости процесса нагрева (при двух ступенчатом режиме) и пяти критериев оптимизации. Выбор оптимального варианта осуществлялся в два этапа: на первом формировали множество Парето, на втором – из множества Парето проводили выбор оптимального варианта с использованием метода идеальной точки.

5. Новая методика была апробирована только на опытных образцах полимерных композиционных материалов, а эксплуатационные характеристики деталей не рассматривались, в том числе и не оценивалась герметичность баллона высокого давления.

Соискатель указал, что все высказанные замечания будут учтены в дальнейших исследованиях.

На заседании 18 ноября 2021 года диссертационный совет **принял решение** за новые научно обоснованные технологические решения и разработки по управлению технологией производства деталей летательных аппаратов при выполнении технологических операций отверждения, имеющие существенное значение для развития страны, **присудить** Чэнь Янтян учёную степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 16 человек, из них 5 докторов наук по специальности 05.07.02 «Проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов», участвовавших в заседании, из 23 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за –16, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Председатель
диссертационного совета

Денискин Юрий Иванович

Учёный секретарь
диссертационного совета

Денискина Антонина Робертовна

18 ноября 2021 года

Начальник отдела удо **МАИ**
Т.А. Аникина

