

СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ

Диссертационный совет: Д 212.125.10

Соискатель: Титов Сергей Анатольевич

Тема диссертации: «Методика обеспечения повышения несущей способности конструкций из полимерных композиционных материалов и продления их ресурса»

Специальность: 05.07.02 – «Проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов»

Решение диссертационного совета по результатам защиты диссертации:

На заседании 27 июня 2019 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 Титову Сергею Анатольевичу ученую степень кандидата технических наук.

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

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



А.Р. Денискина

И.о.начальника отдела УДС МАИ
Т.А. Аникина



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 27.06.2019 г. № 8

О присуждении Титову Сергею Анатольевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Методика обеспечения повышения несущей способности конструкций из полимерных композиционных материалов и продления их ресурса» по специальности 05.07.02 – «Проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов» принята к защите 23.04.2019 г., (протокол заседания №5) диссертационным советом Д 212.125.10, 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, А-80, ГСП-3, Волоколамское шоссе, д. 4, приказ о создании диссертационного совета – №714/НК от 02.11.2012 г.

Соискатель Титов Сергей Анатольевич, 1981 года рождения, гражданин Российской Федерации.

В 2012 году соискатель окончил магистратуру федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский физико-технический институт (государственный университет)» (МФТИ) по направлению «Прикладные математика и физика» Министерства образования и науки Российской Федерации. В 2010 году окончил заочную аспирантуру федерального государственного унитарного предприятия «Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н.Е. Жуковского» Министерства промышленности и торговли Российской Федерации, работает начальником сектора (основное место работы) в Государственном научном центре Федеральном государственном унитарном предприятии «Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н.Е. Жуковского» (г. Жуковский), Министерства промышленности и торговли Российской Федерации.

Диссертация выполнена в Государственном научном центре Федеральном государственном унитарном предприятии «Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н.Е. Жуковского» (г. Жуковский), Министерства промышленности и торговли Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор Вермель Владимир Дмитриевич, начальник научно-технического центра научно-производственного комплекса, Государственный научный центр, Федеральное государственное унитарное предприятие «Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н.Е. Жуковского».

Официальные оппоненты:

Литвинов Валерий Борисович - советник генерального директора, председатель НТС АО «РТ-Химкомпозит», член совета РОСТЕХ.

Комиссар Олег Николаевич - кандидат технических наук, заместитель генерального директора по научно-инновационной работе АО «ОНПП «Технология» им. А.Г. Ромашина».

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Акционерное общество «АэроКомпозит», в своем положительном заключении, утвержденном Генеральным директором Гайданским Анатолием Иосифовичем и подписанном заместителем Генерального директора по разработке – главным конструктором Куликовым Сергеем Всеволодовичем, начальником департамента усталостной прочности и ресурса - доктором технических наук Стрижиусом Виталием Ефимовичем, указала, что научная новизна диссертационной работы заключается в установлении взаимосвязи прочности и ресурса соединений деталей из полимерных композиционных материалов (ПКМ) с основными факторами, определяющими технологию их изготовления, определении физических условий повреждения обработанных кромок деталей из ПКМ при механической лезвийной обработке и повышенных концентраций напряжений в узлах металло-композитных соединений, выявлении физических основ повышения прочностных характеристик и вязкости клеевой композиции в результате диспергирования ограниченного (1-2%) количества углеродных нано-компонент, установлении наиболее высокой эффективности для структуризации клеевого компаунда нано-трубок с открытыми концами, образующимися при их разломе в процессе диспергирования. В заключении ведущей организации отмечено, что диссертационная работа Титова С.А. является законченной научно-квалификационной работой, в которой получено новое решение актуальной научно-технической задачи. Диссертация удовлетворяет всем требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Титов С.А, заслуживает присуждения ученой степени

кандидата технических наук по специальности 05.07.02 – «Проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов».

Соискатель имеет 27 опубликованных работ по теме диссертации общим объемом 8,1 (129 л.) п.л., из них: в рецензируемых научных изданиях опубликовано 5 работ. В рамках проведения исследований по диссертации получены два патента РФ на изобретения.

Из 27 научных работ соискателя: 12 – статьи в научных журналах, 15 – статьи по материалам конференций; 17 – тезисы докладов на конференциях. Все работы в соавторстве.

Научные публикации соискателя посвящены:

- анализу технологических возможностей и ограничений в области технологии формирования металло-композитных соединений в авиационных конструкциях;

- исследованию взаимосвязей прочности и ресурса соединений деталей из ПКМ с основными факторами, определяющими технологию их изготовления;

- исследованию физических условий повреждения обработанных кромок деталей из ПКМ при механической лезвийной обработке и повышенных концентрациях напряжений в узлах металло-композитных соединений;

- исследованию физических основ повышения прочностных характеристик и вязкости клеевой композиции в результате диспергирования ограниченного количества углеродных нано-компонент;

- исследованию применения клеевой композиции с повышенными механическими характеристиками для упрочнения соединений, а также при проведении ремонта ударных повреждений в деталях из полимерных композиционных материалов;

- разработке конструкции соединений деталей из ПКМ с применением наномодифицированной клеевой композиции;

- разработке способа восстановительного ремонта низкоэнергетических ударных повреждений в панелях из ПКМ с применением металлических вставок, устанавливаемых в детали после выборки поврежденного материала с нормированным натягом и с отбортовкой.

Авторский вклад заключается в выявлении влияния качества механической обработки (фрезерование, сверление) деталей из ПКМ на их прочность; разработке рациональной технологии механической обработки деталей из ПКМ по условиям минимизации повреждений с контролем температуры в зоне резания, экспериментальном подтверждении повышения характеристик клеевой композиции при диспергировании в ней углеродных нано-трубок, включая выявление роста эффективности с увеличением количества открытых углеродных нано-трубок, формируемых при их изломе в процессе диспергирования, определении рационального содержания углеродных нано-модифицирующих компонент в

клеевой композиции, разработке технологии повышения прочности и ресурса метало-композитных соединений за счет заполнения нано-модифицированной клеевой композицией зазоров между отверстием и крепежным элементом, разработке способа ремонта низкоэнергетических ударных повреждений в изделиях из ПКМ, обеспечивающего восстановление прочности и жесткости при минимальном нарушении аэродинамической поверхности, подготовке, на основании полученных результатов, материалов, использованных в АО «ОНПП «Технология» им. А.Г. Ромашина» при разработке методики проведения ремонтно-восстановительных работ изделий из полимерных композиционных материалов, разработке конструктивно-подобных образцов для проведения экспериментальных исследований, организации и проведении подтверждающих экспериментальных исследований, обработке результатов.

В диссертации отсутствуют достоверные сведения об опубликованных работах.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Титов С.А. Применение наномодифицированной клеевой композиции для повышения прочности и долговечности элементов конструкций из композиционных материалов / С.А. Титов, В.Д. Вермель, А.М. Доценко // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2012. – Том 14 номер 4(2). – С. 394–398.
2. Титов С.А. Сопоставление технологий обработки элементов конструкций из полимерных композиционных материалов / С.А. Титов, В.Д. Вермель, А.М. Доценко, Г.А. Корнилов, С.М. Наумов // Оборонная техника –2012. – №8–9. – С.57–61.
3. Титов С.А. О повышении прочности и ресурса металло-композитных соединений при применении наномодифицированной клеевой композиции / В.Д. Вермель, С.А. Титов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2014. – Том 16 номер 1(5). – С. 1328 – 1330.
4. Титов С.А. Клеевая композиция с добавками углеродных наноматериалов для авиационных конструкций на основе полимерных композитов / С.А. Титов, В.Д. Вермель, Ю.В. Корнев, Е.А. Никитина // Учен. Зап. Казан. ун-та. Сер: Физ.-матем. науки. – 2015. – Т. 157, кн. 3. – С. 148–152.
5. Titov S.A. Evaluation of improving mechanical characteristics of epoxy binder after dispersing carbon nanotubes / V.D. Vermel, S.A. Titov, Yu. V. Kornev, P.E. Semenov, T. Yu/ Nagovitsyna, L.L. Chernyshev // Advanced materials & technologies – 2018, №4 – P. 5–15.
6. Свидетельство о государственной регистрации на изобретение «Способ диспергирования наночастиц в эпоксидной смоле» № 2500706. Титов С.А. Вермель В.Д., Доценко А.М. и др. Дата государственной регистрации в Реестре изобретений Российской Федерации 10 декабря 2013 г.

7. Свидетельство о государственной регистрации на изобретение «Способ повышения прочности болтового металло-композиционного соединения» № 2607888. Титов С.А. Барышников О.Е., Вермель В.Д. Дата государственной регистрации в Реестре изобретений Российской Федерации 11 февраля 2017 г.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы. В поступивших отзывах отмечена актуальность темы диссертационной работы, дан краткий обзор 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 Акционерного общества «АэроКомпозит». Отзыв положительный. Имеется замечание:

Результаты экспериментальных исследований, представленные в диссертационной работе, получены без учета климатического воздействия и срока эксплуатации, который для изделий авиационной техники может достигать до 30-50 лет. Также не проведены исследования по воздействию авиационных технических жидкостей и топлива на нано-модифицированную клеевую композицию, предложенную к использованию в конструкциях соединений и при ремонте.

Отзыв на диссертацию официального оппонента Литвинова Валерия Борисовича, доктора технических наук, советника генерального директора, председателя НТС АО «РТ-Химкомпозит», члена совета РОСТЕХ, г. Москва. Отзыв положительный. Имеются замечания:

1. Результаты экспериментальных исследований, представленные в диссертационной работе, получены без учета воздействия авиационных технических жидкостей и топлива на нано-модифицированную клеевую композицию.
2. В разделе 1.2 на рис. 1.11 показана зависимость коэффициентов концентрации контактных и растягивающих напряжений на контуре отверстия от величины относительного зазора между отверстием и болтом в болтовом соединении. При этом не представлена та же картина при наличии в зазоре клеевой прослойки, которая может существенно повлиять на концентрацию напряжений и соответственно несущую способность.
3. В разделе 2.1 представлено описание углеродных нано-трубок с открытыми концами, которые образуются при ультразвуковом воздействии, однако в работе не раскрыто насколько энергоэффективен такой способ распределения наноматериалов в полимерном связующем при больших производственных мощностях (масштабный фактор).

Отзыв на диссертацию официального оппонента Комиссара Олега Николаевича, кандидата технических наук, заместителя генерального директора по научно-инновационной работе АО «ОНПП «Технология» им. А.Г. Ромашина», г. Обнинск. Отзыв положительный. Имеются замечания:

1. Недостаточно обоснована разработанность темы диссертации, т.к. слабо представлен научный задел ученых в области диссертационного исследования.
2. Анализ влияния погрешностей изготовления проведен диссертантом для наиболее ответственных аэродинамических агрегатов самолета типа крыло. Однако полученные в аэродинамических расчетах значения допустимых отклонений не могут быть непосредственно перенесены на хвостовое оперение, агрегаты механизации крыла, лопасти винтов лопатки вентиляторов, компрессоров и турбин в связи с существенным отличием характера обтекания и критериев расчета несущей способности.
3. Из текста автореферата не вполне ясно, для какой модели обтекания (ламинарное или турбулентное) исследовалось влияние геометрии аэродинамического профиля на характеристики.
4. В тексте автор не всегда корректно использует термины «прочность» и «несущая способность».

Отзыв на автореферат диссертации Валерия Ханановича Сахина, кандидата технических наук, начальника НИО прочности, заместителя главного конструктора по прочности АО «Гражданские самолеты Сухого», г. Москва. Отзыв положительный. Имеются замечания:

1. Выполненные в рамках работы экспериментальные исследования ограничиваются только нормальными условиями, не исследовано поведение разработанной клеевой композиции при воздействии окружающей среды. На текущий момент не ясно, как будут меняться характеристики упрочненного соединения при эксплуатации летательного аппарата. Выполнение такого анализа увеличило бы значимость работы.

Отзыв на автореферат диссертации Касилова Валерия Павловича, кандидата технических наук, ведущего научного сотрудника лаборатории колебаний и волновых процессов филиала Института машиноведения им. А.А. Благонравова РАН (ИМАШ РАН), г. Москва. Отзыв положительный. Имеются замечания:

1. Не ясны основные рекомендации по выбору технологических параметров механической обработки деталей из ПКМ.
2. Отсутствуют сведения о технологии изготовления использованного в экспериментах полимерного композиционного материала (вакуумное или автоклавное формование).

3. По-видимому, автор предложил универсальный способ определения рациональных технологических параметров механической обработки деталей из ПКМ, однако не приводит такой вывод в заключении.

4. Отсутствует информация о марке исходного конструкционного клея.

Отзыв на автореферат диссертации Зайченко Ивана Ивановича, кандидата технических наук, старшего научного сотрудника, Главного конструктора – начальника НИО акционерного общества «Научно исследовательский институт приборостроения имени В.В. Тихомирова» (АО «НИИП имени В.В. Тихомирова»), г. Москва. Отзыв положительный. Имеется замечание:

1. Применение новой разработанной клеевой композиции в авиационных конструкциях должно быть подкреплено оценкой влияния на нее климатического воздействия, поскольку фактическая эксплуатация летательного аппарата составляет десятки лет.

Отзыв на автореферат диссертации Шептунова Сергея Александровича, доктора технических наук, директора - федерального государственного автономного учреждения науки Института конструкторско-технологической информатики РАН (ИКТИ РАН), г. Москва. Отзыв положительный. Имеются замечания:

1. Из текста автореферата не ясен срок, в течении которого модифицированная клеевая композиция сохраняет свои свойства. Не происходит ли агрегатирование нано-компонент и выпадение их в осадок?

2. Отсутствует информация о воздействии климатических условий при длительной эксплуатации на свойства модифицированной клеевой композиции.

3. Предварительная затяжка крепежных болтов использовалась и раньше при изготовлении авиационных конструкций из деревянных материалов, о чем автор не упоминает.

Отзыв на автореферат диссертации Вальцивера Виктора Александровича, доктора технических наук, заместителя директора по научной работе Института технической химии Уральского отделения РАН («ИТХ УрО РАН»), г. Пермь. Отзыв положительный. Имеются замечания:

1. В описании второй главы (стр. 12) в первом абзаце отмечено, что при добавлении УНК и их агломератов в полимерную матрицу повышается вязкость клеевой композиции, не совсем понятно о каком повышении вязкости идет речь, о вязкости самой композиции или же речь идет про повышение ударной вязкости отвержденного состава. Если речь идет о росте вязкости композиции, то не раскрыто, является ли это повышение благоприятным или же это нежелательный эффект введения УНК и отрицательно сказывается на технологическом процессе нанесения. Если речь идет об ударной вязкости и повышении деформационной способности отвержденного состава, то хотелось бы увидеть конкретные значения, т.к. далее на стр. 14 в последнем абзаце отмечено, что благодаря введению УНК

повышается модуль упругости и твердость на 20-30 %, что как, правило, отрицательно сказывается на показателе ударной вязкости.

2. На стр. 13 в шестом абзаце говорится об углеродных нанотрубках с открытыми концами, которые образуются при ультразвуковом воздействии. В автореферате отсутствуют данные о том, какая была энергия ультразвукового воздействия, и какими методами подтверждается, что именно ультразвуковое воздействие формирует разломы в нанотрубках. Также не раскрыто насколько энергоэффективен такой способ распределения наноматериалов в полимерном связующем при больших производственных мощностях.

3. На стр. 15 рис. (12 а) представлена диаграмма, на которой среднее значение предела прочности ниже минимального значения, сложно понять о каких значениях вообще идет речь в такой визуализации. Возможно, следует более информативно донести информацию из данной диаграммы. Рисунок (12 б) также не несет в себе необходимой информации, следует лишь то, что при 80 °С прочность состава, более чем на 70 %, хотелось бы увидеть полностью температурную зависимость прочностных свойств клеевой композиции.

Отзыв на автореферат диссертации Остапенко Виктора Петровича, первого заместителя главного конструктора Акционерного общества «Летно-исследовательский центр», г. Жуковский. Отзыв положительный. Замечаний нет.

Отзыв на автореферат диссертации Кулеша Андрея Викторовича, доктора технических наук, руководителя обособленного подразделения акционерного общества «Уральский завод гражданской авиации», г. Москва. Отзыв положительный. Имеются замечания:

1. На стр. 9 на рис. 2 представлено изображение, полученное с применением метода шерографии. Однако автором не дано ясное пояснение представленного результата.

2. На стр. 15 на рис. 13а видно, что при испытаниях клеевых соединений с модифицированной клеевой композицией минимальное значение предела прочности при сдвиге повышено существенно больше среднего. Из этого можно сделать вывод, что разброс значений снизился, однако автор об этом не упомянул.

3. На стр. 17 на рис. 19 показана использованная спиральная траектория инструмента при фрезеровании кармана в детали из ПКМ. По-видимому, в зависимости от укладки слоев композита с различной ориентацией волокон результат фрезерования будет зависеть от направления движения фрезы. Соответствующий анализ автор, по-видимому, не проводил.

Выбор официальных оппонентов обосновывается их компетентностью в отрасли науки, к которой относится диссертационная работа Титова С.А., подтверждается их научными публикациями в данной области.

Выбор Литвинова В.Б., доктора технических наук, советника генерального директора, председателя НТС АО «РТ-Химкомпозит», члена совета РОСТЕХ в качестве официального оппонента обосновывается его широкой компетентностью в области проектирования, производства и технологии изготовления деталей изделий авиационной техники из ПКМ, разработки авиационных конструкций с широким применением ПКМ. Литвинов В.Б. – автор ряда монографий, имеет большое количество научных работ по конструкции агрегатов самолетов и вертолетов и узлам их соединений, изготавливаемых из ПКМ.

Выбор Комиссара О.Н., кандидата технических наук, заместителя генерального директора по научно-инновационной работе АО «ОИПП «Технология» им. А.Г. Ромашина» в качестве официального оппонента обосновывается его компетентностью в конструкциях и технологии производства деталей и агрегатов авиационных конструкций из ПКМ. Комиссар О.Н. имеет многолетний практический опыт данных работ, в течение ряда лет возглавлял специализированное КБ, разрабатывающее конструкции летательных аппаратов различного назначения из ПКМ. Имеет публикации по данной тематике.

Ведущая организация акционерное общество «АэроКомпозит» **выбрана** в соответствии с её специализацией на разработку и серийное производство крыла из ПКМ отечественных магистральных пассажирских самолетов РФ. В ее штате наиболее квалифицированные конструкторы и технологи в области композиционных материалов. Имеется современный комплекс для лабораторных исследований композиционных материалов и изделий из них. Производственная база оснащена современным оборудованием для основных технологических операций.

Список основных публикаций работников ведущей организации по теме диссертации в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет:

1. Стрижиус В.Е. Процедура анализа причин усталостных повреждений при ресурсных испытаниях элементов авиационных конструкций / Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. 2014. № 199. С. 52-61.
2. Strizhius V. Analysis of the fatigue life of composite airframe elements according to the conditions of their residual strength / Mechanics of Composite Materials. 2014. Т. 50. № 5. С. 569-578.
3. Стрижиус В.Е. Методы приближенных оценок усталостной долговечности типовых элементов композитных авиаконструкций / Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. 2015. № 211 (1). С. 23-28.

4. Стрижиус В.Е. Некоторые закономерности усталостного разрушения элементов композитных авиаконструкций / Композиты и наноструктуры. 2016. Т. 8. № 4 (32). С. 265-271.
5. Стрижиус В.Е. Критерий усталостного разрушения при сложном напряженно-деформированном состоянии слоистых композитов. / Механика композитных материалов. 2016. Т. 52. № 3. С. 521.
6. Strizhius V. Estimation of the residual fatigue life of laminated composites under a multistage cyclic loading / Mechanics of Composite Materials. 2016. Т. 52. № 5. С. 611-622.
7. Strizhius V. Fatigue damage accumulation under quasi-random loading of composite airframe elements / Mechanics of Composite Materials. 2016. Т. 52. № 4. С. 455-468.
8. Strizhius V. Fatigue failure criterion of laminated composites under a complex stress-strain state / Mechanics of Composite Materials. 2016. Т. 52. № 3. С. 369-378.
9. Гайданский А.И. Уникальные компетенции компании «АэроКомпозит» / Научно-технический журнал «НАНОИНДУСТРИЯ» №5(59), август 2015г.
10. Если быть, то быть первыми / Композитный мир №2 (77) 2018г.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- **разработана** методика повышения несущей способности авиационных конструкций из полимерных композиционных материалов (ПКМ) и продления их ресурса на основе повышения качества механической обработки деталей из ПКМ и применения упрочняющей нано-модифицированной клеевой композиции. Достижимое повышение статической прочности и ресурса узлов соединений, включая восстановительный ремонт низко энергетических ударных повреждений, экспериментально подтверждено на методических и конструктивно-подобных образцах;

- **обоснованы** возможности повышения несущей способности авиационных конструкций с широким применением ПКМ за счет повышения прочности и усталостной долговечности деталей из ПКМ в результате низко повреждающей механической обработки и заполнения повреждений наноклеевой композицией с повышенными механическими характеристиками и трещиностойкостью, а также устранения зазоров между отверстиями и соединительными элементами в узлах соединений;

- **предложена** методика повышения прочностных характеристик конструкционных клеев путем их структуризации при диспергировании в них углеродных нано-компонент;

- введено **новое понятие** - структурированная наноклеевая композиция.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

- **установлена** взаимосвязь прочности и ресурса соединений деталей из ПКМ с основными факторами, определяющими технологию их изготовления;

- **определены** физические условия повышения прочности и ресурса соединений в металло-композитных конструкциях и восстановительном ремонте ударных повреждений на основе применения нано-модифицированной клеевой композиции с повышенными прочностными характеристиками и трещиностойкостью, структурированной в результате диспергирования углеродных нано-трубок, сопровождающегося их изломами.

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

1. **подтверждена** возможность существенного повышения статической прочности (до 20%) и ресурса соединений (не менее, чем в 4 раза) и восстановительного ремонта деталей из ПКМ с применением разработанной нано-модифицированной клеевой композиции (НМК) (патент РФ № 2607888 от 11.01.2017 «СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ПРОЧНОСТИ БОЛТОВОГО МЕТАЛЛО-КОМПОЗИЦИОННОГО СОЕДИНЕНИЯ»).
2. **определены** требования и осуществлен выбор рациональных параметров режущего инструмента (сверление, фрезерование). Разработаны технологические рекомендации по его применению с минимизацией повреждений кромок деталей из ПКМ и отверстий в соединениях.
3. **определен** наиболее эффективный углеродный нано-компонент (УНК) - нано-трубок с открытыми концами, образующимися при их разломах в процессе диспергирования и установлена их рациональная массовая концентрация для повышения механических характеристик клеевой композиции применительно к использованию при устранении повреждений кромок деталей, повышении прочности и ресурса соединений, проведению ремонта.
4. **разработана** технология диспергирования углеродных нано-компонентов в клеевых композициях, обеспечивающая равномерность распределения и разломы УНК, повышающие активность взаимодействия с фрагментами эпоксидных цепей (патент РФ № 2500706 от 10.12.2013г «СПОСОБ ДИСПЕРГИРОВАНИЯ НАНОЧАСТИЦ В ЭПОКСИДНОЙ СМОЛЕ»).
5. **разработана** конструкция соединений деталей из ПКМ с применением нано-модифицированной клеевой композиции. Получено экспериментальное подтверждение повышения прочностных и ресурсных характеристик на изготовленных конструктивно-подобных образцах.
6. **разработан** способ восстановительного ремонта низкоэнергетических ударных повреждений в панелях из ПКМ с применением металлических вставок,

устанавливаемых в детали после выборки поврежденного материала с нормированным натягом и с отбортовкой, не выступающей более, чем на допустимые 0.5мм за обводообразующую поверхность.

7. разработаны и внедрены полученные на основе выполненной работы технологические рекомендации по механической лезвийной (фрезерование, сверление) обработке ПКМ для минимизации повреждений на обрабатываемых кромках деталей; технология повышения прочности и ресурса металлокомпозитных соединений с применением нано-модифицированной клеевой композицией;

8. результаты исследования внедрены:

- в Государственном научном центре, Федеральное государственное унитарное предприятие «Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н.Е. Жуковского» при изготовлении аэродинамических моделей, а также образцов деталей из полимерных композиционных материалов (в т.ч. вырезаемых из агрегатов натуральных изделий) в обеспечении проведения прочностных испытаний объектов авиационной техники;

- в ПАО «Корпорация «Иркут» при подготовке образцов для испытаний на статическую прочность и усталостную долговечность;

- в АО «ОНПП «Технология» им. А.Г. Ромашина» при разработке рекомендаций по проведению ремонтно-восстановительных работ поврежденных деталей и агрегатов из ПКМ.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

- для экспериментальных работ использованы аттестованные средства измерения, а также, методики и стандарты; проведены в достаточном объеме экспериментальные исследования на конструктивно-подобных образцах, изготовленных авиационными предприятиями и ФГУП «ЦАГИ»;

- **теоретические положения и допущения**, использованные в диссертации при разработке моделей и методик, представляются в достаточной степени обоснованными и непротиворечивыми, основанными на принятых положениях теории машиностроения, механики композиционных материалов, проектирования и конструирования авиационных конструкций из ПКМ, нанотехнологии, методах и инструментальных средствах исследования прочности материалов и изделий из них;

- **проведено** экспериментальное подтверждение разработанных методик на достаточной выборке образцов;

- **установлено** качественное соответствие авторских результатов с результатами исследований, представленными в открытых независимых источниках.

Личный вклад соискателя состоит в следующем:

1. Выявление влияния качества механической обработки (фрезерование, сверление) деталей из ПКМ на их прочность; разработка рациональной технологии механической обработки деталей из ПКМ по условиям минимизации повреждений с контролем температуры в зоне резания.
2. Экспериментальное подтверждение повышения характеристик клеевой композиции при диспергировании в ней углеродных нано-трубок, включая выявление роста эффективности с увеличением количества открытых углеродных нано-трубок, формируемых при их изломе в процессе диспергирования.
3. Определение рационального содержания углеродных нано-модифицирующих компонент в клеевой композиции.
4. Разработка технологии повышения прочности и ресурса металло-композитных соединений за счет заполнения нано-модифицированной клеевой композицией зазоров между отверстием и крепежным элементом.
5. Разработка способа ремонта низкоэнергетических ударных повреждений в изделиях из ПКМ, обеспечивающий восстановление прочности и жесткости при минимальном нарушении аэродинамической поверхности.
6. Подготовка материалов при разработке методики проведения ремонтно-восстановительных работ изделий из полимерных композиционных материалов.
7. Разработка конструктивно-подобных образцов для проведения экспериментальных исследований, организация и проведение подтверждающих экспериментальных исследований, обработка результатов исследований.

Представленные в диссертационной работе результаты получены при непосредственном участии автора работы, результаты работы докладывались и обсуждались на российских и международных конференциях.

На заседании 27.06.2019 г. диссертационный совет принял решение присудить Титову Сергею Анатольевичу ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 18 человек, из них 6 докторов наук по специальности 05.07.02 – Проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов, участвовавших в заседании, из 23 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 18, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

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

27 июня 2019 года

И.о. начальника отдела УДС МАИ
Т.А. Аникина

