

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 403.004.01

НА БАЗЕ

ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИТАРНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

«ЦЕНТРАЛЬНЫЙ АЭРОГИДРОДИНАМИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ИМЕНИ ПРОФЕССОРА Н.Е. ЖУКОВСКОГО»

МИНИСТЕРСТВА ПРОМЫШЛЕННОСТИ И ТОРГОВЛИ РОССИЙСКОЙ

ФЕДЕРАЦИИ (ДЕПАРТАМЕНТ АВИАЦИОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ)

ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 15 декабря 2020 г. № 27

О присуждении Кондакову Ивану Олеговичу, гражданину РФ, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Исследования статической и ударной прочности сетчатых композитных конструкций фюзеляжа» по специальности 05.07.03 – «Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов» в виде рукописи **принята к защите** 13 октября 2020 года, протокол №21, диссертационным советом Д 403.004.01 на базе Федерального государственного унитарного предприятия «Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н.Е. Жуковского» Министерства промышленности и торговли Российской Федерации (Департамент авиационной промышленности). Адрес организации: 140180, Московская область, г. Жуковский, ул. Жуковского, д. 1. Приказом Минобрнауки России от 15.02.2013 № 75/нк диссертационному совету Д 403.004.01 предоставлено право приема к защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук.

Соискатель Кондаков Иван Олегович 1983 года рождения.

В июне 2007 г. соискатель окончил Московский физико-технический институт (в настоящее время: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский физико-технический институт (государственный университет)») (МФТИ), факультет аэромеханики и летательной техники (ФАЛТ). В сентябре 2010 г. соискатель окончил очную аспирантуру МФТИ.

В настоящее время Кондаков И.О. **работает** начальником сектора в лаборатории прочности перспективных авиационных конструкций отделения статической и тепловой прочности Федерального государственного унитарного предприятия «Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н.Е. Жуковского».

Диссертация выполнена в отделении статической и тепловой прочности Федерального государственного унитарного предприятия «Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н.Е. Жуковского».

Научный руководитель – кандидат технических наук Шаныгин Александр Николаевич, начальник лаборатории Федерального государственного унитарного предприятия «Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н.Е. Жуковского».

Официальные оппоненты:

Думанский Александр Митрофанович – доктор физико-математических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук, заведующий лабораторией механики композиционных материалов;

Митрофанов Олег Владимирович – доктор технических наук, «Региональные самолеты», филиал ПАО «Корпорация «Иркут», заместитель начальника НИО прочности, заместитель главного конструктора по прочности
дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Публичное акционерное общество «Туполев» (г. Москва) **в своем положительном заключении**, подписанном Фроловым Антоном Сергеевичем – заместителем начальника центра – начальником отдела П1 ПКЦ «Прочность», Большаковым Константином Евгеньевичем – начальником отдела П2 ПКЦ «Прочность» и Малининым Георгием Владиславовичем – ведущим инженером-конструктором и утвержденном Солозобовым Валерием Ивановичем – заместителем Генерального директора по проектированию, НИР и ОКР, **указала, что** представленная работа удовлетворяет требованиям п.9 «Положения о присуждении ученых степеней» (Постановление Правительства РФ от 24.09.2013 № 842), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Кондаков Иван Олегович, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.03 – «Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов». Диссертация и отзыв были обсуждены на научном семинаре ведущей организации.

Соискатель имеет 20 опубликованных работ, из них по теме диссертации опубликовано 20 работ, в том числе 4 публикации в научных рецензируемых журналах и изданиях, рекомендованных ВАК РФ.

Наиболее значимые работы:

1. Кондаков И.О. Разработка и валидация методики расчетного анализа прочности сетчатых композитных конструкций фюзеляжа //Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. – 2016. – Т. 19. – №.6.

В работе предложен метод моделирования однонаправленных композитных ребер на основе кессонных структур из мембранных конечных элементов. Представлен автоматизированный алгоритм анализа прочности сетчатых композитных цилиндрических отсеков фюзеляж, позволяющий значительно сократить трудоемкость и время анализа прочности данного типа конструкций.

2. Кондаков И. О., Дубовиков Е.А., Фомин В.П., Шаныгин А. Н. Сравнительный весовой анализ отсеков фюзеляжа с различными конструктивно-силовыми схемами //Ученые записки ЦАГИ – 2019. – Т. 50. – №. 3. Авторский вклад 40%.

В работе представлены результаты прочностного и весового анализа альтернативных вариантов регулярного цилиндрического отсека фюзеляжа перспективного среднемагистрального самолета. Рассмотрены три варианта: металлический отсек традиционной конструктивно-силовой схемы (КСС),

композитный отсек традиционной КСС и композитный отсек сетчатой КСС. Показано, что сетчатый отсек имеет выигрыш в весе по сравнению с традиционными аналогами.

3. Кондаков И. О., Зиченков М. Ч., Шаныгин А. Н. Новый подход к созданию легких и надежных силовых композитных авиаконструкций //Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. – 2016. – Т. 19. – №.6. Авторский вклад 40%.

В работе предложена новая конструктивно-силовая схема для композитных силовых конструкций фюзеляжа на основе жесткого сетчатого каркаса из однонаправленных композитных ребер и системы гибких обшивок. Показано, что применение такой схемы имеет высокий потенциал в снижении веса конструкции фюзеляжа перспективных гражданских самолетов.

4. Кондаков И. О., Шаныгин, А. Н., Марескин, И. В., Ведерников, Д. В., Кудров, М. А. Принципы создания легких металло-композитных стыковочных узлов на основе механических метаматериалов для перспективных авиаконструкций //Труды Московского физико-технического института. – 2018. – Т. 10. – №. 1 (37). Авторский вклад 30%.

В работе предложены основные подходы к созданию эффективных по весу металло-композитных стыковочных узлов авиационных конструкций на основе принципа гармонизации локальных прочностных и жесткостных свойств стыкуемых частей. Обоснована возможность практической реализации подобных стыков с помощью технологий 3D-печати из металлических сплавов.

Основные результаты, описанные в публикациях, докладывались автором на российских и международных конференциях.

Соискатель является соавтором 3 изобретений (патенты №№ 2558493, 2558494, 2655585) и 1 полезной модели (№ 167805).

На диссертацию и автореферат поступили отзывы официальных оппонентов и ведущей организации.

Отзыв **официального оппонента** Думанского А.М. – положительный, замечания следующие.

- Несмотря на то, что в названии работы присутствует слово «прочность», не проведен анализ критериев разрушения сетчатых конструкций. Приведены лишь ссылки на работы, посвященные формированию критериев;
- В работе недостаточно подробно описано обоснование преимуществ использования сетчатых конструктивно-силовых схем по сравнению с традиционными (обшивочными) конструкциями фюзеляжа – не приведены конкретные результаты расчетов прочности конструкций традиционных КСС;
- В экспериментальных исследованиях ударной прочности ребро защищено лишь первичными защитными элементами и не учтено влияние внешней обшивки на ударную стойкость конструкции. Эксперимент также мог бы быть дополнен расчетными исследованиями ударной прочности.

Отзыв **официального оппонента** Митрофанова О.В. – положительный, замечания следующие.

- Не конкретно сформулирован первый подпункт, касающийся цели диссертационной работы. «Развитие научно-технического задела...» - это некоторый процесс движения в перспективном направлении.
- В работе рассматриваются конструкции фюзеляжей гражданских самолетов, которые должны иметь некоторые отличия от конструкций одноразовых изделий. В этом случае более чем уместным было бы упоминание АП-25 пункта 25.571 (Оценка допустимых повреждений).
- Не рассмотрены в должной мере вопросы ремонтпригодности и контролепригодности. Для предложенной в работе концепции сетчатых конструкций вопрос контролепригодности является наиболее принципиальным для дальнейших разработок.

Отзыв **ведущей организации** – положительный, замечания следующие.

- Многолетний опыт специалистов ПАО «Туполев» по выполнению расчетов с помощью метода конечных элементов показывает, что использование различных, в частности одно- и двухмерных типов конечных элементов не приводит к возникновению каких-либо технических ошибок при выполнении расчетного анализа, поэтому наложенные ограничения на их совместное использование и необходимость применения единого типа КЭ являются недостаточно обоснованными.
- При решении инженерных задач использование разработанной кессонной расчетной модели не целесообразно, так как в ней в явном виде не определяются усилия в ребрах сетчатой структуры, а фрагментированное в ней напряженно-деформированное состояние напрямую не связано со структурой и геометрией рассматриваемого элемента конструкции.
- Для корректной оценки весовой эффективности сетчатой конструкции относительно традиционных компоновочных решений необходимо учитывать вес не только силовых, но и вспомогательных (технологических) конструктивных элементов.
- Недостаточно подробно описана рассматриваемая в работе конструктивно-силовая схема сетчатой оболочки отсека фюзеляжа, а именно не показаны схемы крепления конструктивных элементов между собой, не приведены данные о конструкции стыковочных узлов на торцах отсека.
- Учитывая, что предложенная концепция защиты сетчатых композитных конструкций от ударных воздействий подразумевает использование материалов с теплоизоляционными и звукопоглощающими свойствами, закрывающими со всех сторон силовые элементы, возникают вопросы о контроле- и ремонтпригодности, которые не рассмотрены в данной работе.

На автореферат поступили отзывы из организаций, перечисленных ниже.

1. Публичное акционерное общество **«Таганрогский авиационный научно-технический комплекс им. Г.М. Бериева»**. Отзыв составлен главным специалистом отделения перспективных разработок, кандидатом технических наук Крееренко Сергеем Сергеевичем. Отзыв утвержден управляющим директором ПАО «ТАНТК им.

Г.М. Бериева» Тихоновым Михаилом Михайловичем. Отзыв положительный, замечание следующее.

Для предложенной сетчатой конструкции не указаны возможные варианты ее технологической реализации. При этом следует отметить, что технологическая реализуемость данной конструкции не вызывает серьезных сомнений.

2. Публичное акционерное общество **«Корпорация «Иркут»**. Отзыв составлен начальником отделения прочности – заместителем главного конструктора по прочности Яшутиным Андреем Григорьевичем, начальником бригады конечно-элементного моделирования, кандадатом технических наук Батановой Натальей Владимировной. Отзыв утвержден заместителем генерального директора ПАО «Корпорация «Иркут» по разработке авиационной техники – директором Инженерного центра, Главным конструктором самолета МС-21 Поповичем Константином Федоровичем. Отзыв положительный, замечания следующие:

В автореферате автор не указывает принятые гипотезы и допущения для применяемой оболочечной (обшивочной) модели.

В автореферате не указано, почему для экспериментальных исследований систем защиты ребра от ударного воздействия (глава 4) были выбраны образцы квадратного сечения, хотя для сетчатых конструкций фюзеляжа рациональным является соотношение размеров $H/d \approx 3-5$. При этом, автор на основании результатов экспериментов делает вывод о снижении веса для конструкций с другими геометрическими параметрами. Мы рекомендуем дополнить работу расчетными сравнениями ударопрочности прямоугольных и квадратных ячеек.

В автореферате автор не уделяет внимания исследованию усталостной прочности рассматриваемых конструкций.

3. Акционерное общество **«Экспериментальный машиностроительный завод им. В.М. Мясищева»**. Отзыв составлен заместителем главного конструктора – начальником комплекса прочности, конструкции и технологичности Крокосом Максимом Евгеньевичем. Отзыв утвержден заместителем управляющего директора, главным конструктором Лепуховым Борисом Николаевичем. Отзыв положительный, замечание следующее:

Не показано, каким образом будет осуществлено соединение между элементами сетчатой конструкции (каркасом, обшивками, защитными элементами) и не проведен анализ возможных вариантов такого соединения.

4. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования **«Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ»**. Отзыв составлен доцентом кафедры производства летательных аппаратов, кандидатом технических наук Батраковым Владимиром Владимировичем. Отзыв утвержден заведующим кафедрой производства летательных аппаратов, доктором технических наук, профессором Халиулиным Валентином Илдаровичем. Отзыв положительный, замечание следующее:

Отсутствие описания предполагаемой технологии изготовления сетчатых конструкций новой КСС. Несмотря на то, что технологии изготовления сетчатых каркасов существуют и в значительной мере отработаны, введение в конструкцию новых элементов потребует доработки данных технологий.

5. Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «**Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)**». Отзыв составлен заведующим кафедрой вычислительной физики, член-корреспондентом Российской академии наук, доктором физико-математических наук, профессором Петровым Игорем Борисовичем. Отзыв утвержден ученым секретарем МФТИ Евсеевым Евгением Григорьевичем. Отзыв положительный, замечания отсутствуют.

6. Публичное акционерное общество «**Ил**». Отзыв составлен начальником отдела главного конструктора по самолету СВТС Ерофеевым Максимом Владимировичем. Отзыв утвержден главным конструктором по самолету СВТС Ермолиным Игорем Андреевичем. Отзыв положительный, замечания отсутствуют.

7. Акционерное общество «**Центральный научно-исследовательский институт специального машиностроения**». Отзыв составлен заместителем главного конструктора, академиком Российской академии наук Васильевым Валерием Витальевичем, начальником сектора научно-исследовательских, проектных и конструкторских разработок элементов из композиционных материалов авиационной техники, кандидатом технических наук Бабичевым Антоном Александровичем. Отзыв утвержден секретарем НТС Красновой Галиной Викторовной. Отзыв положительный, замечание следующее.

Отсутствие в работе проработки практически применимой технологии реализации предложенной автором защитной системы ребер сетчатых силовых структур.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их широкой известностью своими достижениями, компетентностью, наличием публикаций в данной сфере исследования и способностью определить научную и практическую ценность диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- **разработан** метод конечно-элементного моделирования однонаправленных композитных ребер на основе построения многосвязной кессонной структуры из мембранных конечных элементов,
- **разработан** автоматизированный алгоритм для параметрических исследований прочности конструкций цилиндрических оболочек отсеков фюзеляжа с сетчатой КСС на основе жесткого каркаса и гибких гермообшивок,
- **предложена и экспериментально апробирована** концепция первичной защиты силовых элементов сетчатых композитных конструкций фюзеляжа от ударных воздействий.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

- **предложена** новая конструктивно-силовая схема для композитной силовой оболочки отсека фюзеляжа на основе силового сетчатого каркаса из однонаправленных композитных ребер и системы гибких обшивок,
- **реализован** новый расчетный метод оценки прочности сетчатых композитных конструкций цилиндрических оболочек, позволяющий обеспечить высокую оперативность вычислений при требуемой точности результатов расчетов,

- **предложен** подход к обеспечению ударной стойкости силовых композитных авиаконструкций путем защиты силовых элементов от ударных воздействий и показана его эффективность применительно к сетчатым композитным конструкциям фюзеляжа.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается следующим.

Разработанный метод моделирования однонаправленных композитных ребер и автоматизированный алгоритм анализа прочности сетчатых композитных отсеков фюзеляжа на его основе были **использованы** для оценки прочности перспективных композитных конструкций отсеков фюзеляжа в ряде международных и российских научных проектов. Алгоритм обеспечивает существенное снижение временных затрат и трудоемкости выбора рациональных параметров сетчатых отсеков на начальном этапе проектирования конструкции планера самолета.

Выполненные с использованием разработанных метода и алгоритма исследования способствовали созданию 3 изобретений и 1 полезной модели.

В рамках данной диссертационной работы успешно **решен** ряд практических задач, связанных с поиском новых конструктивных решений для перспективных конструкций фюзеляжа, содержащих отсеки и панели, включая проектировочные исследования по конструкциям фюзеляжа перспективных среднемагистральных гражданских самолетов, самолета в схеме «Летающее крыло», самолета с овальным фюзеляжем.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

теория построена на известных данных, которые корректно описывают исследуемые процессы, и физически не является противоречивой;

идея базируется на анализе прочностных особенностей композитных авиаконструкций, в том числе конструкций сетчатой КСС;

использованы сравнения результатов расчетов с результатами расчетов по другим методикам и с экспериментальными данными, а также проведена успешная апробация в рамках российских и международных конференций;

установлено качественное и количественное согласование полученных расчетных результатов с данными экспериментальных исследований, проведенных в ФГУП «ЦАГИ».

Личный вклад соискателя состоит в:

в разработке метода моделирования однонаправленных композитных ребер;

в реализации автоматизированного алгоритма для параметрических исследований прочности сетчатых цилиндрических оболочек фюзеляжа;

в разработке и экспериментальной апробации концепции первичной защиты композитных ребер от ударных воздействий;

в решении практических задач оценки прочности сетчатых авиаконструкций фюзеляжа с использованием разработанного алгоритма;

в подготовке докладов и выступлениях на российских и международных конференциях, в подготовке публикаций в периодических изданиях.

Диссертация охватывает основные вопросы поставленной научной задачи (проблемы) и соответствует критерию внутреннего единства, что подтверждается следованием основной идейной линии диссертации, обоснованным в начале диссертации целям и задачам исследования.

На заседании 15 декабря 2020 года диссертационный совет пришел к выводу о том, что диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, в которой содержится решение научной задачи, имеющей значение для развития отрасли знаний, связанной с созданием перспективных композитных и металлокомпозитных авиаконструкций с традиционными и нетрадиционными конструктивно-силовыми схемами. Работа соответствует критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842.

Диссертационный совет принял решение присудить Кондакову Ивану Олеговичу ученую степень кандидата технических наук по специальности 05.07.03 – «Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов».

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 20 человек, из них:

- по специальности 01.02.05 – «Механика жидкости, газа и плазмы»
 - 5 докторов физико-математических наук,
 - 1 доктор технических наук.
- по специальности 05.07.01 – «Аэродинамика и процессы теплообмена летательных аппаратов»
 - 2 доктора физико-математических наук,
 - 6 докторов технических наук.
- по специальности 05.07.03 – «Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов»
 - 1 доктор физико-математических наук,
 - 5 докторов технических наук.

участвовавших в заседании, из 30 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за присуждение учёной степени – 20 человек, против присуждения учёной степени – 0, недействительных бюллетеней – 0.

И.о. председателя
диссертационного совета,
д.ф.-м.н., профессор, член-корр. РАН

А.М Гайфуллин

Ученый секретарь
диссертационного совета,
д.ф.-м.н., доцент



М.А. Брутян

15 декабря 2020 года