

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.379.03,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
АВТОНОМНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ «САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЕВА»
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЁНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 15 декабря 2023 г. № 22
о присуждении Павельчуку Максиму Владимировичу, гражданину Российской
Федерации, учёной степени кандидата технических наук.

Диссертация «Топологическое проектирование конструкции фюзеляжа в зоне большого выреза с учётом ограничений на перемещения» по специальности 2.5.13. Проектирование, конструкция, производство, испытания и эксплуатация летательных аппаратов принята к защите 13 октября 2023 года (протокол заседания № 16) диссертационным советом 24.2.379.03, созданным на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (443086, г. Самара, Московское шоссе, 34) приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации №365/нк от 20 декабря 2018г.

Соискатель – Павельчук Максим Владимирович, 29 июня 1990 года рождения, в 2012 г. с отличием окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет)» по специальности 220305 «Автоматизированное управление жизненным циклом продукции» с присуждением квалификации «инженер». В 2016 году освоил программу подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С. П. Королева» по научной специальности 05.07.02 – Проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов. Обучение в аспирантуре совмещал с работой на кафедре конструкции и проектирования летательных аппаратов в должности ассистента, с 2020 года по настоящее время работает в должности старшего преподавателя федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С. П. Королева» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертация выполнена на кафедре конструкции и проектирования летательных аппаратов федерального государственного автономного

образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – Болдырев Андрей Вячеславович, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой конструкции и проектирования летательных аппаратов федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева».

Официальные оппоненты:

Бельский Александр Борисович, Заслуженный конструктор Российской Федерации, доктор технических наук, профессор, акционерное общество «Национальный центр вертолётостроения имени М. Л. Миля и Н. И. Камова», заместитель исполнительного директора по науке и инновационному развитию, заместитель генерального конструктора по вертолётным комплексам специального назначения, комплексам авиационного вооружения и обороны вертолётов;

Бурнышева Татьяна Витальевна, доктор технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный технический университет», заведующий кафедрой прочности летательных аппаратов,

– дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное автономное учреждение «Сибирский научно-исследовательский институт авиации имени С.А. Чаплыгина» (СибНИА), г. Новосибирск, в своём положительном заключении, подписанном доктором технических наук, старшим научным сотрудником, заместителем начальника отделения усталостной и статической прочности, заместителем начальника НИО-2 по научной работе, начальником аспирантуры СибНИА Железновым Львом Петровичем и утверждённый и.о. директора СибНИА Драгочинским Владимиром Александровичем, указала, что диссертация является завершённой научно-квалификационной работой, выполнена на высоком научном уровне и отвечает всем критериям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а её автор, Павельчук М. В. заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.13. – Проектирование, конструкция, производство, испытания и эксплуатация летательных аппаратов.

Соискатель имеет 36 опубликованные работы, в том числе по теме диссертации опубликовано 31 работа, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 6 работ, получен один патент РФ на изобретение и одно свидетельство на регистрацию базы данных, 22 работы опубликованы в трудах и материалах Всероссийских и Международных научных конференций.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем учёной степени работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации. Наиболее значимые работы:

1. Болдырев, А. В. Анализ адекватности результатов конечно-элементного моделирования фюзеляжа в зоне большого выреза / А. В. Болдырев,

М. В. Павельчук // Научный Вестник МГТУ ГА. – 2023. – Т. 26. – № 4. – С. 64–76. (научная статья 1.6 / 0.8 п.л.)

2. Болдырев, А. В. Развитие методики топологической оптимизации конструкции фюзеляжа в зоне большого выреза / А. В. Болдырев, М. В. Павельчук, Р. Н. Синельникова // Вестник Московского авиационного института. – 2019. – Т. 26. – № 3. – С. 62–71. (научная статья 1.125 / 0.375 п.л.)

3. Пат. RU 2646175 С1, Российская Федерация, МПК В64С 1/14. Отсек фюзеляжа летательного аппарата с вырезом под лок / А. В. Болдырев, В. А. Комаров, М. В. Павельчук; заявитель и патентообладатель Самарск. нац. исследоват. ун-т им. акад. С.П. Королёва; – № 2016150351; заявл. 20.12.2016; опубл. 01.03.2018, Бюл. № 7. – 11 с. (патент РФ 0.688 / 0.23 п.л.)

4. Болдырев, А. В. Формализация проектирования силовых схем авиационных конструкций на основе процессного подхода / А. В. Болдырев, М. В. Павельчук // Автоматизация. Современные технологии. – 2015. – № 5. – С. 37–39. (научная статья 0.4 / 0.2 п.л.)

5. Болдырев, А. В. Развитие методики проектирования силовых схем авиационных конструкций с использованием модели тела переменной плотности / А. В. Болдырев, М. В. Павельчук // Известия Самарского научного центра РАН. – 2013. – Т. 15. – № 6(3). – С. 603–606. (научная статья 0.25 / 0.125 п.л.)

На автореферат диссертации поступило 18 отзывов.

1. ФГБОУ ВО «Ульяновский институт гражданской авиации имени Главного маршала авиации Б.П. Бугаева». Отзыв составил заведующий кафедрой авиационной техники к.т.н., доц. Евсевичев Д.А., заверил учёный секретарь УИГА П.В. Зобов. Замечания: 1) Из автореферата не понятно, для чего в формуле (5) вносится ограничение сверху для i -й переменной проектирования и чем оно определяется; 2) В автореферате в описании алгоритма оптимизации комбинированной модели не объяснены введенные понятия «внутреннего» и «внешнего» циклов; 3) Структура алгоритма оптимизации комбинированной модели составлена без учета всех требований ГОСТ 19.701-90.

2. ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н.Туполева - КАИ». Отзыв составил заведующий кафедрой конструкции и проектирования летательных аппаратов д.т.н., профессор Гайнутдинов В.Г., заверил начальник управления делопроизводства и контроля. Замечания: 1) отсутствие указания единиц измерения плотности в теоретически оптимальной конструкции, представленной на рис. 1; 2) отсутствию в третьей главе в разделе 3.1 рисунка, демонстрирующего процессы методики топологического проектирования фюзеляжа, что повысило бы наглядность их представления для понимания сути процессов при передаче управления.

3. ООО «Центр Технических Проектов». Отзыв подписал начальник отдела прочности Жаров С.Е., заверенный печатью организации. Замечания: 1) К сожалению, расчеты, приводимые в работе, выполнены не в самом современном иностранном ПО. На наш взгляд, интереснее и актуальнее, участвовать в развитии и апробации отечественных программных продуктов, таких как Fidesys, АПМ и других. Терминология, используемая при описании конечно-элементной модели, также соответствует конкретному ПО и не является

универсальной; 2) В примерах, приводимых в работе, отсутствует расчетный случай изгиба фюзеляжа, комбинация данного случая с избыточным давлением догружает верхнюю часть конструкции каркаса проема; 3) Рекомендации по необходимому числу элементов на контуре геометрического выреза должны также учитывать размер элементов и влияние масштабного фактора к размерности модели; 4) Использование в конструкции наклонных диагональных балок, работающих в условия сложного НДС, существенно затрудняет аналитическую оценку детальной прочности. При производстве таких балок, требуется большее количество оснастки, а при сборке будут сложности с позиционированием на поверхностях двойной кривизны; 5) Рекомендации по использованию технологических отверстий в стенках глухих балок для осмотров конструкции явно недостаточно для проведения визуального осмотра, на наш взгляд, правильнее изначально заложить отбортованные вырезы во внутренних панелях; 6) Конструкция фюзеляжа, как правило, работает в условиях сложного НДС, использование безизгибных балок для моделирования стрингеров и поясов, на наш взгляд некорректно; 7) Из текста диссертации неочевидно, какой именно концентратор использовался при анализе безопасного ресурса; 8) По тексту работы очень часто используется термин «масса» в значении веса конструкции, при этом иногда упоминается и «вес».

4. ПАО «Яковлев». Отзыв составил начальник отделения – заместитель главного конструктора по прочности Гусев П.Н., утвердил начальник КБ Яштуин А.Г. Замечания: 1) Пункт 2 на странице 9 автореферата, касающийся количества конечных элементов вдоль контура отверстия элемента конструкции, требует дополнительного пояснения; 2) Из автореферата неясно, какие конкретно конструкционные материалы рассматривались в диссертационной работе.

5. ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского». Отзыв составили профессор кафедры теоретической, компьютерной и экспериментальной механики института информационных технологий, математики и механики, д.ф.-м.н., профессор Любимов А.К. и доцент кафедры теоретической, компьютерной и экспериментальной механики института информационных технологий, математики и механики, к.т.н., доцент Киселёв В.Г. Подписи заверил учёный секретарь Черноморская Л.Ю. Замечания: 1) Не затронуты вопросы многовариантности внешнего нагружения; 2) Недостаточно четко представлена математическая основа методики топологической оптимизации.

6. ФГАОУ ВО «Омский государственный технический университет». Отзыв составили заведующий кафедрой «Авиа- и ракетостроение», академик Международной академии холода, к.т.н., доцент Яковлев А.Б. и доцент кафедры «Авиа- и ракетостроение» к.т.н. Жариков К.И. Подписи заверил учёный секретарь Немцова А.Ф. Замечания: 1) В автореферате диссертации в п.2 (стр. 4) научной новизны заявлено, что «Выявлена весовая эффективность размещения...», но далее по тексту автореферата про этот показатель ничего не представлено; 2) В тексте автореферата на стр. 9-10 сформулированы рекомендации по адекватному моделированию конструкции фюзеляжа, при этом

не освещены вопросы учета: эффектов физической и геометрической нелинейности, краевого эффекта при расчете оболочечных конструкций на прочность.

7. ФАУ «Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н.Е. Жуковского». Отзыв подписали заместитель начальника отделения «Статическая и тепловая прочность ЛА», к.т.н. Лимонин М.В. и научный сотрудник отделения «Статическая и тепловая прочность ЛА» Валунов К.А., утвердил заместитель генерального директора – начальник центра прочности ЛА, к.т.н. Зиченков М.Ч. Замечания: 1) В явном виде в автореферате не представлен процесс интерпретации получаемых результатов топологической оптимизации, в части того, как осуществляется переход от полученных распределений плотности материала и потоков усилий к реальным конструктивным элементам. Не показано, является ли эта операция автоматизированной в предложенной методике или окончательный вариант конструктивно-силовой схемы зависит от опыта и уровня подготовки конкретного инженера, осуществляющего проектирование; 2) В автореферате не приводятся данные по апробации представленной методики, в процессе разработки реальных образцов авиационной техники, подтверждающих эффективность полученных конструктивных решений не только в части весовой эффективности, но и их несущей способности; 3) Не понятно, насколько представленная методика применима при поиске оптимальных конструктивных решений в других нерегулярных зонах конструкции фюзеляжа. Так одной из наиболее сложных зон фюзеляжа самолетов транспортной авиации с точки зрения проектирования является грузовая рампа. При проектировании соответствующего ей большого выреза в хвостовой части фюзеляжа конструкторы, как правило, сталкиваются со значительными проблемами в части обеспечения требуемых прочностных и жесткостных и эксплуатационных параметров. Очевидно, что демонстрация применения методов топологической оптимизации на подобном примере наиболее четко продемонстрировала бы эффективность разработанной автором методики; 4) В работе не представлена оценка конструктивных и технологических весовых издержек реализации предлагаемого конструктивного решения, что предположительно повлияет на его весовую эффективность.

8. АО «Центральный научно-исследовательский институт специального машиностроения». Отзыв подготовил старший научный сотрудник проектно-конструкторского отделения №10 к.т.н., доцент Склезнев А.А. Подпись удостоверил секретарь НТС Краснова Г.В. Замечание: из текста автореферата не ясно, применимо ли рассматриваемое решение топологической оптимизации для фюзеляжей, выполненных по конструктивно-силовым схемам с применением композитных материалов, например: с применением композитных обшивок, композитных подкрепляющих элементов или фюзеляжей сетчатой анизотридной структуры.

9. АО «Государственное машиностроительное конструкторское бюро «Радуга» имени А.Я. Березняка». Отзыв подписали начальник комплексного отдела проектов Смирнов В.Н., начальник отделения прочности и тепловой

защиты Жаворонков А.В., начальник бригады проектов Чуприна П.М., утвердил первый заместитель генерального директора, заместитель по НИОКР, главный конструктор, к.т.н. Сыздыков Е.К. Замечания: 1) В разделе 3.1 выбран не достаточно наглядный способ формализации процессов методики топологического проектирования фюзеляжа, поскольку описание приведено только на вербальном уровне представления; 2) В разделе 4.6 можно было бы рассмотреть вопрос экономической эффективности, как возможный критерий при оценке перспектив применения нового конструктивного решения на ранних стадиях проектирования.

10. АО «Институт Новых Углеродных Материалов и Технологий» при МГУ им. М.В. Ломоносова. Отзыв составил заместитель генерального директора к.т.н. Лаптева М.Ю., подпись заверил генеральный директор Кепман А.В. Замечания: 1) При постановке задачи проектирования конструкции со снижением массы и в полученных результатах снижения массы на 17,7% от традиционных конструкций отсутствуют экономические показатели, позволяющие оценить экономию стоимости проектирования конструкции, самой конструкции в зоне большого выреза, и топливную эффективность; 2) В полученном техническом решении с пространственной тонкостенной рамой внутри окантовки выреза отсутствует анализ технологичности дальнейшего сопряжения с обшивкой интерьера и размещением навесного оборудования, которое устанавливается вблизи аварийных выходов.

11. ФГБУН «Институт автоматизации проектирования Российской академии наук». Отзыв подготовил ведущий научный сотрудник к.т.н. Никитин А.Д., подпись заверил заместитель директора Изюров Д.М. Замечание: В автореферате указывается, что «в расчётах на прочность конструкции целесообразно учитывать эффекты физической и геометрической нелинейности». О какой физической нелинейности идет речь, и на каком этапе производится учёт этого эффекта?

12. Опытно-конструкторского бюро имени А.И. Микояна ПАО «Объединенная авиастроительная корпорация». Отзыв подписали начальник отдела прочности, к.т.н. Макаров В.А. и начальник отдела аэроупругости, к.т.н. Дубовицкий Е.И., утвердил заместитель управляющего директора ОКБ ОТА – директор ОКБ им. А.И.Микояна – главный конструктор ОКБ Недосекин А.О. Замечание: В качестве замечания можно отметить, что в автореферате не указано изделие, для которого проводится проектирование выреза. Не проведены статические испытания, подтверждающие результаты проведенного оптимизационного расчёта.

13. Филиал ПАО «Авиационный комплекс имени СВ. Ильюшина» – «Экспериментальный машиностроительный завод имени В.М. Мясищева». Отзыв подготовил начальник отделения – заместитель главного конструктора по каркасу и прочности Крокос М.Е., утвердил заместитель директора филиала – главный конструктор Лепухов Б.Н.

Замечания: В представленной весовой сводке элементов усиления выреза (таблица 2) для различных вариантов конструктивного исполнения отсутствуют сведения, являются ли полученные результаты силовым весом или

весом конструкции с учетом перестыковочных элементов, крепежа и т.д. При этом, вероятно, вследствие введения в конструкцию дополнительных наклонных стенок и организации их перестыков в зоне пересечения продольных и поперечных силовых элементов в предложенной «рациональной силовой схеме конструкции» относительная масса перестыковочных и крепежных элементов (фитинги, косынки, накладки) будет несколько выше, чем относительная масса тех же перестыковочных элементов для варианта конструкции в «традиционном» конструктивном исполнении. Это в итоге несколько снизит преимущество предложенной «рациональной» конструкции.

14. Филиал ПАО «Объединенная авиастроительная корпорация» – Луховицкий авиационный завод имени П. А. Воронина. Отзыв составил ведущий инженер-конструктор Бражников С.В., утвердил главный конструктор Заварухин А.Ф. Замечания: 1) Инженерный анализ конструкций проведён в среде иностранного программного обеспечения NASTRAN. В то же время применение российского программного обеспечения, на наш взгляд, могло бы повысить значимость проведённого исследования; 2) Из автореферата неясно можно ли применять разработанную методику для проектирования силовых схем других типов летательных аппаратов, кроме самолёта; 3) Рекомендуется рассмотреть вопрос адаптации разработанной методики для проектирования не только каркаса вырезов, но и других элементов конструкции.

15. ФГБВОУ ВО «Военно-космическая академия имени А.Ф.Можайского». Отзыв составили специалисты кафедры конструкции ракет-носителей (и ракетных двигателей) – к.т.н., доцент Болдырев К. и преподаватель кафедры, к.т.н. Герасименко С., подписал начальник кафедры д.т.н., профессор Пирогов С. Отзыв утвердил заместитель начальника по учебной и научной работе, д.т.н., профессор Кулешов Ю. Замечания: 1) в автореферате при постановке типовой задачи проектирования конструкции фюзеляжа не отражено обоснование выбора расчетной схемы нагружения, в частности не рассматриваются расчетные случаи нагружения перерезывающей силой и изгибающим моментом, что затрудняет оценку полной картины возможного перераспределения нагрузок, действующих в исследуемых элементах конструкции; 2) на рисунках, представленных в автореферате, автором не приведена модель нагружения, анализирующая напряженно-деформированное состояние исследуемых элементов, входящих в рациональную силовую схему конструкции, что затрудняет сравнительный анализ показателей несущей способности исследуемых вариантов конструкции (рис. 6); 3) в автореферате, при описании сущности процессов проектирования, при разработке комбинированной модели второго типа (КЭМ-2) и выявлении теоретически оптимальной конструкции (ТОК), автором не рассматривается связь массовых и прочностных параметров модельного материала, являющимся заполнителем переменной плотности.

16. ПАО «Авиационный комплекс им. С.В. Ильюшина». Отзыв подписали начальник отдела общей прочности, к.т.н. Говорун М.В. и заместитель главного конструктора по прочности и ресурсу – начальник отделения общей прочности и ресурса конструкции самолёта Калиш А.Г, утвердил главный конструктор

Ганин С.В. Замечания: 1) критерии оценки (уточнение по тексту: при оценке перспектив практического применения нового конструктивного решения фюзеляжа в зоне выреза под люк), на наш взгляд, могли быть расширены, что не снижает в целом положительной оценки диссертационной работы; 2) использование изотропного материала переменной плотности и жёсткости. В то же время введение анизотропии материала, на наш взгляд, могло бы расширить возможности предлагаемого подхода. Высказанное замечание может рассматриваться как пожелание для дальнейшего продолжения исследований в этой области.

17. ПАО «Яковлев» – филиал «Региональные самолёты». Отзыв составил заместитель начальника НИО прочности – заместитель главного конструктора по прочности, д.т.н. Митрофанов О.В., подпись заверил заместитель директора по разработке Долотовский А.В. Замечания: 1) В работе отмечено, что проведена оценка ресурса окантовок выреза в моделях на основе комплексной процедуры оценки допускаемых напряжений и усталостной долговечности элементов авиаконструкций. При проектировании авиационных конструкций в соответствии с п.25.571 (Оценка допустимости повреждений и усталостной прочности конструкций) используется два основных принципа - безопасного ресурса и живучести. Следует отметить, что по принципу безопасного ресурса для современных пассажирских самолетов проектируется только шасси, основные силовые элементы конструкции планера проектируются исходя из безопасного ресурса и живучести. Из автореферата не ясно, проводились ли расчеты на живучесть при обеспечении ресурсных характеристик проектируемых конструкций; 2) В работе указано, что расчеты выполнялись с учетом физической и геометрической нелинейности. В автореферате не указано какой «вклад» дают каждый из указанных типов нелинейностей по сравнению с решением задач в линейной постановке.

18. ФГАОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)». Отзыв составил д.т.н., профессор, профессор кафедры «Аэрокосмические системы» Щеглов Г.А., подпись заверил заместитель управления кадров Назарова О.В. Замечание: из предложенной методики вытекает, что на каждом цикле проектирования требуется корректировка конечно-элементной модели, в связи с этим было бы полезно знать примерное число таких циклов для оценки временных ресурсов на проектирование фюзеляжа в зоне большого выреза.

В отзывах отмечено, что указанные недостатки не снижают научной и практической значимости работы и не влияют на общую положительную оценку диссертации. Во всех отзывах отмечено, что диссертация соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, и сделано заключение о возможности присуждения Павельчуку М. В. учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.13. Проектирование, конструкция, производство, испытания и эксплуатация летательных аппаратов.

Выбор доктора технических наук, профессора Бельского А.Б. в качестве официального оппонента по диссертации связан с тем, что он является высококвалифицированным специалистом в области проектирования

авиационных конструкций, в том числе по оценке предложенного в диссертации нового конструктивного решения отсека фюзеляжа с большим вырезом, найденного с применением разработанной методики топологической оптимизации конструкции фюзеляжа с использованием комбинированной оптимизационной модели.

Выбор доктора технических наук, доцента Бурнышевой Т.В. в качестве официального оппонента по диссертации связан с тем, что она является известным специалистом по методам рационального проектирования конструкций летательных аппаратов нерегулярной структуры на основе методологии вычислительного эксперимента.

Выбор ведущей организации ФАУ «СибНИА им. С.А. Чаплыгина» обосновывается тем, что это один из крупнейших научно-исследовательских и испытательных центров авиационной отрасли России. Известны достижения специалистов СибНИА в области проектирования отсеков фюзеляжей самолётов с учётом условий различных функциональных требований (прочности, жёсткости, устойчивости и др.), предъявляемых к авиационным конструкциям.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

– **введено** применительно к задаче топологического проектирования конструкции фюзеляжа понятие комбинированной оптимизационной модели, содержащей каркасированную оболочку с присоединённым к ней в зоне выреза непрерывным упругим телом переменной плотности и жёсткости, позволяющей учесть основные расчётные случаи нагружения герметичных фюзеляжей;

– **разработана** методика топологической оптимизации конструкции фюзеляжа, отличающаяся использованием комбинированной оптимизационной модели, способом учёта функциональных ограничений по прочности и жёсткости на основе обобщённых перемещений обшивки фюзеляжа, использованием массы конечных элементов в комбинированной модели в качестве переменных проектирования;

– **предложено** новое техническое решение конструкции фюзеляжа в зоне большого выреза, полученное с использованием разработанной методики проектирования, отличающееся наличием в угловых зонах выреза силовых панелей, смещённых внутрь фюзеляжа от теоретических обводов конструкции. Внутренние панели соединяются с наружной обшивкой с помощью шпангоутов, продольных и наклонных стенок. Наличие в силовой схеме внутренних панелей приводит к повышению жёсткости конструкции в радиальном направлении в зоне выреза и уменьшению усилий, действующих в обшивке и подкрепляющих элементах;

– **доказана** весовая эффективность размещения двумерных усиливающих тонкостенных элементов на внутренней поверхности элементов каркаса фюзеляжа, предназначенных для компенсации выреза.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

- **разработана** методика проектирования рациональной силовой схемы фюзеляжа в зоне большого выреза с использованием комбинированной оптимизационной модели, в которой последовательно чередуются процессы структурной и параметрической оптимизации упругой системы, что позволяет находить принципиально новые конструктивные решения;

- **сформулированы** рекомендации для адекватного конечно-элементного моделирования конструкции фюзеляжа в зоне большого выреза на ранних стадиях проектирования.

Применительно к проблематике диссертации результативно использованы следующие методы исследования: метод конечных элементов, методы нелинейного математического программирования, методы натурального эксперимента – фотоупругости, тензометрии.

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

- разработано новое конструктивное решение отсека фюзеляжа в зоне большого выреза, для которого получен патент РФ на изобретение RU 2646175 С1. Выполнена оценка перспектив его практического применения в авиационных конструкциях;

- внедрены результаты на авиастроительных предприятиях (получены акты внедрения): «ОКБ Сухого» – филиал ПАО «Компания «Сухой» (г. Москва), НАЗ «СОКОЛ» – филиал АО «РСК «МиГ» (г. Нижний Новгород);

- используются результаты в учебном процессе ВУЗов: МАИ (г. Москва), НГТУ им. Р.Е. Алексеева (г. Нижний Новгород), Самарский университет (г. Самара) при обучении студентов специальности 24.05.07 «Самолёто- и вертолётостроение».

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

- результаты базируются на применении апробированных численных методов анализа напряжённно-деформированного состояния конструкций, включая методы численного анализа применяемой программы инженерного анализа NASTRAN;

- решение тестовых задач показало хорошее соответствие получаемых результатов с точными аналитическими решениями и данными экспериментальных исследований каркасированной цилиндрической оболочки с большим прямоугольным вырезом, для которой выполнены натурные испытания в Центральном аэрогидродинамическом институте имени профессора Н.Е. Жуковского;

- установлено совпадение экспериментальных и расчётных данных во всех рассмотренных в диссертации объектах исследования.

Личный вклад соискателя состоит в:

- разработке методики топологического проектирования конструкции фюзеляжа в зоне большого выреза с применением комбинированной оптимизационной модели;

