

УТВЕРЖДАЮ  
И.о. проректора по научной  
и инновационной деятельности  
КНИТУ-КАИ

В.М. Бабушкин

« 14 » апреля 2023 г.

## ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ» (КНИТУ-КАИ) на диссертационную работу Печенюка Валерия Сергеевича на тему «Методика проектирования элементов конструкции крыла пассажирского самолета из металлополимерных композиционных материалов», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.13. – «Проектирование, конструкция, производство, испытания и эксплуатация летательных аппаратов».

Диссертационная работа Печенюка В.С. посвящена решению актуальной задачи – разработке методики определения рациональных параметров элементов конструкции крыла пассажирского самолета, выполненных из нового металлополимерного композиционного материала (МПКМ). Материал состоит из чередующихся тонких металлических листов и прослоек в виде препрега полимерного композиционного материала (ПКМ) и объединяет в себе лучшие качества металлов и композитов.

**Актуальность темы исследования.** Диссертационная работа В.С. Печенюка выполнена на актуальную тему, в ответ на потребность разработки усовершенствованной методики проектирования элементов конструкции планера самолета из металлополимерных композиционных материалов. Актуальность диссертационной работы подтверждается также тем, что она соответствует «Стратегическими направлениями развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года» (утвержден указом Президента РФ №899) по реализации комплексной проблемы

6.2 «Слоистые трещиностойкие, высокопрочные металлополимерные

Отдел документационного  
обеспечения МАИ

«02» 05 2023

материалы». Решаемыми задачами в диссертационной работе являются разработка модифицированной методики определения расчетных значений прочностных характеристик произвольной структуры МПКИ и разработка усовершенствованной методики проектирования панелей крыла из элементов МПКМ.

**Целью диссертационной работы** является разработка методики проектирования элементов конструкции крыла пассажирского самолета из металлополимерных композиционных материалов.

Предложенный подход к проектированию конструкций из МПКМ является новым и позволит значительно сократить сроки на проектирование конструкций из МПКМ, что заслуживает внимания.

**Научная новина** работы состоит в формировании новых модифицированных формул для определения допускаемых напряжений, модуля упругости и механических характеристик произвольных пакетов МПКМ, необходимых для проекторочных расчетов. Также впервые разработана методика рационального проектирования элементов стрингерных панелей крыла пассажирского самолета из МПКМ, обеспечивающая наименьшую массу при ограничениях по прочности, жесткости и устойчивости конструкции.

**Практическая значимость** диссертации заключается в разработке методики определения параметров и характеристик различных элементов конструкции крыла пассажирского самолета, выполненных из МПКМ, что позволяет сократить сроки проектирования и получить рациональную конструкцию минимальной массы.

**Структура и содержание диссертации.** Диссертация Печенюка В.С. состоит из введения, 5 глав, заключения, списка используемых сокращений и обозначений, литературных источников из 93 наименований. Включает 148 страниц машинописного текста, 62 рисунка и 22 таблицы.

Во введении дается обоснование актуальности темы, формулируются цели и задачи диссертационной работы, ее научная новизна, показана теоретическая и практическая значимость.

В первой главе («Анализ проблемы, обзор литературы, цель и постановка задач исследования») дается история созлания МПКМ, описание его структуры, свойств и характеристик. Проводится детальный обзор научного задела по современному состоянию проблемы проектирования и применения конструкций из МПКМ. Выполнен анализ литературы по теме диссертационной работы. Сформулированы цель и задачи диссертационной работы.

Во второй главе («Исследование свойств и напряженно-деформированного состояния МПКМ») приводятся варианты элементов конструкции отсека крыла, для которых возможно применение МПКМ. Определяются факторы, влияющие на получение конструкции минимальной массы. Описывается формирование модифицированных формул расчета допускаемых напряжений, модуля упругости и прочих механических характеристик МПКМ. Проводится верификация сравнением полученных расчетных значений характеристик с паспортными характеристиками стандартных МПКМ.

В третьей главе («Исследование свойств и напряженно-деформированного состояния элементов конструкций из МПКМ»). Предложен новый подход исследования свойств и напряженно-деформированного состояния многослойных элементов конструкций из МПКМ по модели составной конструкции, состоящая только из двух элементов: металла и ПКМ. Приводятся диаграммы потока усилий, воспринимаемых ПКМ и металлическими слоями. Также по модели составной конструкции исследовано распределение усилий между стрингером из металла и обшивкой из МПКМ фрагмента стрингерной панели. В данной главе рассмотрена также панель, в которой обшивка и стрингеры разного сечения выполнены полностью из МПКМ. Определены несущие свойства, предельные размеры и шаг стрингеров по условию местной потери устойчивости.

В четвертой главе («Методика проектирования стрингерной панели крыла самолета из МПКМ») формируется модифицированная методика проектирования стрингерной панели, выполненной с применением элементов из МПКМ. Представлена математическая постановка задачи рационального проектирования панели, определены проектные параметры элементов конструкции из МПКМ и изложен алгоритм для их определения. Подробно рассмотрены составляющие элементы блок-схемы проектирования панели. Приведен пример проектного расчета параметров панели и расчет на местную и общую потерю устойчивости.

В пятой главе («Технологические аспекты и рекомендации по проектированию стрингерных панелей из МПКМ») рассмотрено общее описание технологических особенностей, рекомендаций и конструктивно-технологических требований, которые следует учитывать на этапе проектирования конструкции. Среди технологических особенностей рассматриваются технология изготовления МПКМ, соединение элементов конструкции из МПКМ и способы механической обработки МПКМ. В качестве рекомендаций предложены варианты укладок слоев под

определенный тип действующей нагрузки. Обязательные и желательные условия, которые предъявляются к структуре МПКМ с точки зрения технологии и конструкции, указываются в качестве конструктивно-технологических требований.

#### **Рекомендации по использованию результатов и выводов**

Результаты, полученные в диссертации, предлагается использовать в научно-исследовательских и опытно-конструкторских работах по проектированию конструкций перспективных магистральных пассажирских самолетов, а также при реализации образовательных программ специальных курсов в авиационных ВУЗах.

**Достоверность и обоснованность** результатов, полученных в диссертационной работе Печенюка В.С. подтверждаются сравнением аналитических соотношений для МПКМ и конструкций из МПКМ со стандартными паспортными данными конструктивно-подобных образцов, выполненных в ВИАМ.

Основные положения диссертации **достаточно полно отражены** в опубликованных соискателем работах, из которых 2 опубликованы в рецензируемых научных изданиях. Кроме того, основные результаты докладывались и обсуждались на семи международных и всероссийских конференциях.

#### **Замечания:**

1. Во второй главе диссертации проведены исследования по разрушающим напряжениям на сдвиг для обшивок из МПКМ (формула 2.23, рисунок 2,7). Однако, отсутствуют источники значений для модуля сдвига пакета МПКМ.

2. В разделе 2.3.2. диссертации приведены характеристики МПКМ, где листы из металла выполнены из алюминиевых и титановых сплавов, а ПКМ, соответственно, стеклопластики и углепластики, что исследовано и предлагаются ВИАМ. Однако, автором в основном рассматриваются материалы СИАЛ на основе алюминия, что уменьшает область предмета исследования.

3. В формулах 2.13, 2.14, 2.21, 2.22 автором введен коэффициент 0,25 для слоев, ориентированных под углом  $45^\circ$ , однако не приводится формула  $E_{45} = E_1 \cdot \cos^4(\varphi)$ , которая объясняет физический смысл коэффициента.

4. В диссертации приводятся возможные формы сечения стрингеров, выполненных из МПКМ. Автором не даются рекомендации по технологическому изготовлению стрингеров из МПКМ и их связи или соединению с обшивками из МПКМ, как интегральной конструкции.

Отмеченные замечания не снижают научной и практической значимости выполненного исследования.

Автореферат полностью отражает основное содержание диссертации. В нем определены цель, задачи, объект и предмет исследования, описаны

методы исследования и личный вклад автора, изложены основные полученные результаты, сформулированы выносимые на защиту положения, дано достаточно полное представление о научной и практической значимости.

Текст диссертации написан ясным профессиональным языком с соблюдением требований государственных стандартов к структуре и оформлению научно-технической документации, диссертаций и авторефератов.

Диссертационная работа Печенюка В.С. представляет собой законченное исследование, посвященное актуальной теме и выполненное на высоком уровне. Диссертация «Методика проектирования элементов конструкции крыла пассажирского самолета из металлополимерных композиционных материалов» удовлетворяет требованиям действующего Положения о порядке присуждения ученой степени кандидата наук, а ее автор Печенюк Валерий Сергеевич полностью заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.13. – «Проектирование, конструкция, производство, испытания и эксплуатация летательных аппаратов».

Материалы диссертации Печенюка Валерия Сергеевича на тему «Методика проектирования элементов конструкции крыла пассажирского самолета из металлополимерных композиционных материалов» прошли обсуждение на расширенном заседании кафедры конструкций и проектирования летательных аппаратов (протокол № 9 от 06.04.2023 г.), по результатам которого был утвержден отзыв.

Заведующий кафедрой конструкций  
и проектирования летательных  
аппаратов, д.т.н., профессор



В.Г. Гайнутдинов

Доцент кафедры конструкций  
и проектирования летательных  
аппаратов, к.т.н.



Н.В. Левшонков

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ» (КНИТУ-КАИ)  
Адрес: 420111, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Карла Маркса, д.10  
Тел.: +7 (843) 231-97-34, e-mail: [kai@kai.ru](mailto:kai@kai.ru)

С отзывом ознакомлен.



2.05.23