

ОТЗЫВ

официального оппонента проф., д.т.н. Романова Александра Никитовича на диссертацию Кожевникова Владимира Федоровича на тему «Аналитические методы расчета на прочность болтовых соединений летательного аппарата, передающих усилие среза», представленную к защите на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 01.02.06 – «Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры»

Непрерывное повышение единичных мощностей летательных аппаратов и постоянное снижение весовых параметров, связанных со снижением запасов прочности, требует разработки уточненных методов расчета на прочность летательных аппаратов.

Учитывая то, что значительная доля разъемных и неразъемных соединений работает на срез, а применяемые методы расчета такого рода соединений недостаточно обоснованы и требуют разработки новых подходов при расчетах на прочность в обоснование ресурса безопасной эксплуатации такого рода изделий.

В связи с этим диссертационная работа В.Ф.Кожевникова становится весьма актуальной.

Диссертационная работа В.Ф.Кожевникова посвящена поиску аналитических решений вопроса о контактном взаимодействии болта со стенками отверстий в соединяемых деталях, передающих усилие среза.

В работе получены аналитические зависимости между величинами взаимного деформирования контактных поверхностей обоих тел, определение которых разработано в диссертации, и возникающими при этом радиальными контактными напряжениями. При этом получена зависимость между текущими значениями прогиба оси болта и погонной контактной нагрузки. В результате было получено решение о распределении контактной нагрузки и радиальных напряжений по всей поверхности контакта болт-стенка отверстия. На основании этих решений в диссертации получено

ОБЩИЙ ОТДЕЛ МАИ
Вх. № 23 09 2019

выражение для определения местной податливости связи и разработана методика расчета распределения усилий по рядам многорядных стыков сложной конфигурации. Полученные зависимости обоснованы большим объемом экспериментальных исследований напряженного состояния соединений на их плоских и объемных моделях оптическими методами, позволивших получить решения о контактном взаимодействии и оценить степень достоверности полученных в диссертации теоретических решений.

Диссертация состоит из введения, восьми глав, заключения и списка цитируемой литературы, насчитывающего 108 источников. Вводная часть содержит обоснование актуальности проблемы, степень ее разработанности к настоящему времени, формулируется цель исследования, новизна, практическая и теоретическая ценность, излагаются методы исследования, степень их достоверности и перечисляются положения, выносимые на защиту.

Практическая ценность состоит в том, что разработанные в диссертации математические модели, сведенные к уравнениям, входящие параметры в которых включают геометрические и механические характеристики соединения, что позволяет конструктору пользоваться полученными решениями.

Достоверность полученных результатов. Полученные решения обоснованы результатами экспериментальных исследований и применением корректными математическими моделями, подтверждают достоверность результатов.

Научная новизна обосновывается тем, что разработанные в диссертации решения о контактном взаимодействии получены в условиях максимально возможного приближения расчетной модели к работе натурального стыка, эти решения получены впервые, значительное большинство экспериментальных исследований было выполнено впервые.

На основе анализа литературных источников диссертантом (**глава 1**) сформулирована научная проблема теоретического и экспериментального

исследования напряженно-деформированного состояния болтовых соединений, основанная на максимальном приближении расчетной схемы к условиям работы реального болтового соединения, передающего усилие среза.

Проблема контактного взаимодействия представлена в плоской постановке и сведена к решению задачи о давлении диска на стенку отверстия пластины, произвольно нагруженной по ее кромкам, которая моделирует произвольный слой расчетного элемента, выделенного в окрестности произвольной силовой точки многорядного стыка (глава 2). Такого рода задача решена впервые. При этом установлена аналитическая зависимость, связывающая текущие величины взаимных упругих перемещений контактирующих поверхностей диска и стенки отверстия с возникающими при этом радиальными контактными напряжениями.

Полученное общее уравнение для расчета распределения радиальных контактных напряжений учитывает усилия, приложенные к диску и кромкам пластины, различие их материалов, а также наличие натяга, которое затем преобразуется в расчетные формулы.

При этом осуществлена оценка достоверности полученных аналитических решений путем сопоставления их с экспериментальными результатами, полученными методом фотоупругости на моделях при различных вариантах нагружения кромок пластины, показавшая удовлетворительный результат.

Рассмотрена и решена пространственная контактная задача в условиях контакта болта с реальными стенками отверстий (глава 3).

Получено дифференциальное уравнение изогнутой оси болта в соединении, работающем на срез. Выполнено решение этого уравнения, найдены константы интегрирования из граничных условий экспериментально-аналитическим способом.

В результате получено общее уравнение для расчета распределения контактной нагрузки по толщине каждого из соединяемых элементов

односрезного соединения, которое может быть также использовано и для накладок двусрезных соединений. Полученные впервые решения представлены в явном виде и замкнуты на толщине каждого из соединяемых элементов, что имеет важное практическое значение при использовании их для выполнения расчетов на прочность.

Достоверность полученных решений о распределении контактной нагрузки в различных типах соединений подтверждена сопоставлением с экспериментальными данными, полученными методом фотоупругости на объемных моделях соединений, показавшая удовлетворительные результаты.

В четвертой главе изложена методика и основные подходы к проведению экспериментальных исследований в обоснование моделей и аналитических решений. Разработаны методики проведения исследований на плоских и объемных моделях соединений, созданы стенды, позволяющие реализовать нагружение модели с варьированием соотношений нагрузок. Разработана и применена методика исследования напряжений в объемных моделях болтовых соединений с применением метода «замораживания» деформаций.

Изложены результаты (**глава 5**) экспериментального исследования распределения радиальных напряжений по всей поверхности контакта диска со стенкой отверстия при различных вариантах нагружения кромок пластины и диска.

В шестой главе выполнено экспериментальное исследование распределения погонной контактной нагрузки в объемных моделях болтовых соединений. Исследование осуществлено методом «замораживания» деформаций с последующей разрезкой моделей на тонкие срезы в различных плоскостях, перпендикулярных оси болта. В этих срезах было найдено распределение радиальных контактных напряжений, вычислена их ранодействующая, которая и была принята в качестве текущей величина контактной нагрузки, действующей в срединной плоскости среза.

Диссертантом разработана также методика, основанная на обнаруженной им устойчивой корреляции между текущими величинами контактной нагрузки и максимальными значениями разностей главных напряжений на кромке отверстия в каждом из срезов.

Такие экспериментальные исследования напряженного состояния болтовых соединений выполнены впервые.

Седьмая глава посвящена практической реализации полученные аналитических решений о контактном взаимодействии болта со стенками болтовых отверстий. При этом получено аналитическое решение о местной податливости связи в односрезных соединениях. Это решение позволяет определять величину местной податливости связи, обусловленную деформациями взаимного упругого смятия контактирующих поверхностей диска и стенки отверстия.

В восьмой главе разработан метод расчета распределения усилий по рядам многорядных односрезных поперечных стыков, стыкуемые элементы которых имеют плоскую, ступенчатую или клиновидную конфигурацию.

Получена универсальная система уравнений для расчета распределения усилий по рядам поперечных односрезных стыков. Выполнен расчет распределения усилий по рядам трех регулярных образцов стыков, имеющих одинаковые геометрические и механические характеристики, но различающиеся тем, что стыкуемые элементы в них имели соответственно плоскую, ступенчатую и клиновидную конфигурации.

Достоверность полученных теоретических результатов обоснована вполне достаточной для приближенных решений строгостью математических формулировок задач, а также подтверждается сопоставлением выполненных в диссертации теоретических расчетов с экспериментальными данными, полученными на плоских и объемных моделях методами фотоупругости и муаровых полос.

Практическая значимость разработанных математических моделей и методов состоит в том, что они составляют основу для осуществления

уточненных расчетов на прочность болтовых соединений летательного аппарата, передающих усилие среза и имеющих сложную геометрию, а также осуществлять рациональное их проектирование.

В заключении приведены основные выводы по работе.

По диссертации могут быть сделаны следующие **замечания**:

1. В работе нет достаточного обоснования полученных решений при наличии переменных нагрузок, в том числе с наличием упругопластических деформаций.
2. Не ясно, насколько справедливы решения для материалов, имеющих различное структурное состояние со статическим разрушением на отрыв и на скол.

Указанные замечания не снижают научной ценности диссертационной работы, и в целом, диссертация Кожевникова В.Ф. выполнена на высоком научном уровне и соответствует всем критериям положения «О порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г. В работе получены результаты, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение в области решения проблемы пространственного контактного взаимодействия тел с круговыми границами контакта, которые являются актуальными не только для авиастроения, но и для других отраслей машиностроения.

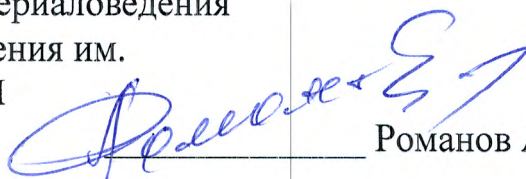
Основные результаты диссертации опубликованы в 33-х работах, 28 из которых – в рецензируемых журналах, рекомендуемых ВАК.

Автореферат в полной мере отражает содержание диссертации.

В связи с изложенным Кожевников Владимир Федорович заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальности 01.02.06 – «Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры».

Официальный оппонент
доктор технических наук
профессор, заведующий Отделом

конструкционного материаловедения
Института машиноведения им.
А.А.Благонравова РАН



Романов Александр Никитович

101990, Москва, Малый Харитоньевский пер.
Институт машиноведения им.
А.А.Благонравова РАН
Телефон: 8 (916) 426-17-15
E-mail: alrom37@mail.ru

Подпись Романова Александра Никитовича удостоверяю.

ФИО и должность сотрудника,
Удостоверяющего подпись

