

ОТЗЫВ

официального оппонента кандидата технических наук Бабичева Антона Александровича на диссертационную работу Торопылиной Екатерины Юрьевны «Обеспечение прочности и устойчивости несущих композитных панелей средней толщины авиационных конструкций с учетом геометрической нелинейности», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по Специальности 2.5.14 – «Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов»

Актуальность работы

Диссертационная работа Торопылиной Екатерины Юрьевны посвящена обеспечению прочности несущих панелей из композитных материалов. Объектами исследований представленной работы являются гладкие панели, для которых рассмотрены задачи обеспечения прочности при закритическом деформировании, и подкрепленные панели, для которых рассмотрены задачи обеспечения устойчивости при наличии регламентированных сквозных повреждений. Указанные объекты являются основными силовыми элементами конструкций современных самолетов малой и средней грузоподъемности. В этом случае актуальность темы диссертационной работы не вызывает сомнений.

Общая характеристика работы

Диссертация Торопылиной Е.Ю. представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы из 122 наименований и приложения. Общий объем работы составляет 140 страниц.

Во введении диссертации приведено обоснование актуальности темы, дана характеристика степени разработанности темы, сформулированы цель и задачи работы, указаны объекты и предмет исследования. Затем перечислены положения, определяющие научную новизну, теоретическую и практическую значимость диссертационной работы, а также основные положения, выносимые на защиту.

ОТДЕЛ КОРРЕСПОНДЕНЦИИ
И КОНТРОЛЯ ИСПОЛНЕНИЯ
ДОКУМЕНТОВ МАИ

«20» 11 2025 г.

Первая глава диссертационного исследования посвящена обзору технической литературы и анализу ключевых вопросов, касающихся методик обеспечения прочности и устойчивости несущих панелей авиационных конструкций. Представлены основные геометрические нелинейные соотношения, необходимые для расчета композитных панелей средней толщины при закритическом поведении.

Во второй главе приведены результаты сравнительных параметрических численных исследований расположения дефектов и их влияние на значения критических напряжений потери устойчивости панелей при разных вариантах граничных условий и различных соотношениях геометрических параметров панелей. Также представлены результаты экспериментальных исследований устойчивости металлических плоских образцов прямоугольной формы при продольном сжатии с повреждениями в виде сквозных отверстий. Кроме того, учет влияния толщины на значения критических напряжений потери устойчивости гладких композитных панелей в диссертационной работе предложен за счет введения коэффициента, полученного по результатам сравнительных параметрических исследований при варьировании модулями поперечного сдвига композитной структуры.

В третьей главе предложены модифицированные аналитические методики расчета и определения параметров Z-образных подкрепленных панелей, которые основаны на принципе равноустойчивости, учитывают наличие возможных регламентированных сквозных дефектов обшивки, а также влияние толщины. В работе приведены аналитические соотношения для подкрепленных панелей при сжатии и сдвиге.

В четвертой главе предложены методики расчета плоских гладких композитных и металлических панелей средней толщины при закритическом деформировании. Записанные соотношения основаны на аналитических решениях геометрически нелинейных задач полученные методом Бубнова-Галеркина. Представленные выражения учитывают мембранные и изгибные

напряжения, возникающие на начальном этапе закритического деформирования. В работе указано, что потенциально - критические точки, в которых указанных мембранные и изгибные напряжения достигают максимальных по модулю значений, различаются. В диссертации представлены соответствующие методики для гладких панелей, нагруженных сжимающими и касательными потоками, а также при комбинированном нагружении. Кроме того, в работе рассмотрены панели при типовых граничных условиях (шарнирном и жестком опирании). Полученные соотношения также были использованы для формализации методик определения минимальных толщин указанных гладких панелей при закритическом деформировании.

С пятой главе предложена методика расчета композитных цилиндрических панелей малой кривизны при закритическом деформировании с учетом шарнирного и жесткого опирания при нагружении сжимающими потоками. Методика позволяет учитывать особенности напряженно-деформированного состояния при потере устойчивости и возникновении мембранных и изгибных напряжений от действия внешних сжимающих потоков. На основе разработанной методики предложена методика определения минимальных толщин панелей при обеспечении прочности при закритическом деформировании.

В заключении сформулированы основные результаты диссертационной работы и отмечено, что представленные решения и методики являются частью научно-технического задела для создания перспективного самолета малой и средней грузоподъемности.

Научная новизна

диссертации заключается в комплексе результатов параметрических исследований и прикладных методик обеспечения прочности и устойчивости, учитывающими особенности панелей средней толщины, которые можно перечислить следующим образом:

— результатов параметрических исследований устойчивости гладких композитных панелей при сжатии и сдвиге с учетом дефектов в виде сквозных круглых отверстий и разрезов, а также численных исследований влияния толщины при варьировании модулями поперечного сдвига;

— модифицированных аналитических методиках расчета и определения параметров композитных подкрепленных панелей при обеспечении местной и общей устойчивости с учетом дефектов (в виде сквозных круглых отверстий и разрезов) и толщины обшивки при нагружении сжимающими и касательными усилиями;

— методиках расчета и определения минимальных толщин гладких плоских композитных и металлических панелей средней толщины с учетом мембранных и изгибных напряжений при закритическом деформировании при сжатии, сдвиге и комбинированном нагружении;

— методиках расчета и определения минимальных толщин для сжатых гладких цилиндрических композитных панелей средней толщины с учетом мембранных и изгибных напряжений при закритическом деформировании при шарнирном и жестком опирании.

Практическая значимость результатов диссертационной работы состоит в возможности проведения расчетов для обеспечения устойчивости подкрепленных панелей с учетом дефектов в виде сквозных отверстий при нагружении сжимающими усилиями и прочности гладких и цилиндрических панелей малой кривизны с учетом мембранных и изгибных напряжений при закритическом деформировании. Результаты работ внедрены в ОКБ отрасли для самолетов малой и средней грузоподъемности.

Степень достоверности результатов диссертации

Достоверность представленных в диссертации результатов, определяется сопоставлением с известными аналитическими и численными решениями частных известных задач.

Результаты диссертации, выносимые на защиту, опубликованы 5 научных трудов в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, и прошли

апробацию на 6 международных и всероссийских научно - технических конференциях.

Замечания по диссертации

1. В главе 3 диссертационной работы представлена реализация методики расчета в пакете MATLAB только для одного случая при сжатии для шарнирно опертой панели. Было бы целесообразно показать результаты численных расчетов для других случаев, для которых представлены аналитические методики.
2. На странице 19 работы сделано допущение что тонкими пластинами можно считать пластины, относительная толщина которых не превышает значение $1/5$. Так, например, для пластины с расстоянием между стрингерами 150 мм, тонкой пластиной будет считаться пластина 30 мм. Общепринятым критерием тонких пластин является значение относительной толщины $1/20$ и менее.
3. Начиная с таблицы 2.1 и далее все величины указаны в кгс/мм². В соответствии с требованиями должны быть указаны в системе СИ.
4. Рассматривая пластины при сдвиге на страницах 89 и 92 взята классическая аппроксимация прогиба для бесконечно длинной пластины, а на рисунках 4.2 и 4.3 указаны пластины конечной длины, имеющие граничные условия на краях, которые или заделаны, или оперты.
5. В параграфе 4.4 диссертации сделано замечание, касающееся использования полученных аналитических решений геометрически нелинейных задач панелей средней толщины для оценки напряженно деформированного состояния поверхностных дефектов типа расслоений. Но при этом полученные решения соответствуют гладким ортотропным панелям, а расслоения в общем случае могут иметь несимметричную и несбалансированную структуру. Желательно в последующих работах учесть все возможные особенности структуры расслоений.

Заключение

Автореферат по всем квалификационным признакам полностью отражает содержание диссертации. Указанные выше замечания не снижают положительной оценки работы. Представленная к защите диссертация Торопылиной Е.Ю. является законченной научно-квалификационной работой, которая соответствует требованиям п.9 «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемых ВАК РФ к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а ее автор, Торопылина Е.Ю., заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.14 – «Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов».

Начальник проектно-конструкторского отделения 10 – Заместитель главного конструктора Акционерного общества «Центральный научно-исследовательский институт специального машиностроения», кандидат технических наук Бабичев Антон Александрович

«07» 11 2025 г.

Адрес: 141371, Московская область, Сергиево-Посадский г.о., г. Хотьково,
ул. Заводская, д.34

Веб-сайт: tsniism.ru

Телефон: +7 (495) 993-00-11

Email: tsniism@tsniism.ru

Подпись Бабичева А.А. удостоверяю
Начальник ГУД АО «ЦНИИСМ»



Краснова Г.В.

Сторогом,
20.11.2025г.