

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

к.т.н. Федоренко Алексея Николаевича

на диссертационную работу

Акулина Петра Владимировича

на тему «Метод расчёта на прочность щелевых обтекателей несущих поверхностей летательных аппаратов из композиционных материалов с учётом деградации свойств матричной структуры», представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.14. – «Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов»

Актуальность темы диссертации.

В настоящее время в авиационной промышленности широко применяются численные методы расчета прочности конструкций из полимерных композиционных материалов (ПКМ). Методы, в основе которых лежит механика поврежденности и разрушения, остаются наиболее широко применяемыми и рациональными с точки зрения сложности вычислений для анализа развития внутрислойных и межслойных повреждений в слоистых композитах. Однако, их применение требует определения многочисленных параметров, ассоциированных с поврежденностью и пластичностью, которые очень трудоемко, а зачастую невозможно определить экспериментально. Чтобы дополнить экспериментальные исследования и, возможно, частично их заменить, распространен подход с использованием представительных объемов (RVE) и периодических ячеек, позволяющий моделировать развитие повреждений внутри связующего и на интерфейсах волокон в условиях комбинированного нагружения. В представленной к защите диссертационной работе явно прослеживается цель построить подобную многоуровневую модель, позволяющую на моделях низкого уровня (RVE, периодических ячеек, модели мезо-уровня для жгутов) построить критерии разрушения и определить закон эволюции поврежденности. Полученные данные используются для параметров феноменологических моделей, позволяющих проводить прочностные расчеты на уровне конструкции. Таким образом,

общая проблема, тематика и используемые методы в представленной к защите работы совпадают с большим количеством передовых современных работ, а потому работа является актуальной.

Научная новизна полученных результатов и выводов.

Выносимые на защиту положения обладают научной новизной. Проведена комплексная многоуровневая методика для оценки прочностных и деформационных характеристик щелевых обтекателей, изготовленных из тканых и однонаправленных ПКМ. Эта методика предполагает использование специальных моделей для определения прочностных, деформационных и деградационных параметров элементарного слоя на микроуровне. В рамках исследования впервые получены экспериментальные данные, демонстрирующие деградацию свойств тканого органопластика при растяжении в направлениях основы и утка. Аналогичные данные были получены для щелевых обтекателей из полимерных композиционных материалов, подвергшихся консольному изгибу.

Практическая значимость работы.

Разработанный подход доведён до уровня, позволяющего проводить прочностные расчёты на уровне элементов конструкции. А именно, приведены расчёты для оценки несущей способности щелевых обтекателей из ПКМ.

Достоверность полученных результатов.

Представлен и проанализирован внушительный объём экспериментальных исследований как элементарных, так и конструктивно-подобных образцов щелевых обтекателей из ПКМ, которые подтверждают достоверность методики численного моделирования.

Замечания по диссертационной работе:

- 1) В уравнениях 2.1 - 2.12 имеется ряд неточностей, и использованы неудачные обозначения. Это сразу видно из анализа размерностей, так как эффективные пробные напряжения (формула 2.4) зависят от квадрата напряжений, и поэтому в формуле ли представлен квадрат эффективных напряжений, либо нужна корректировка представленного выражения. Параметры, называемые в работе параметрами пропорциональности материала при растяжении и сжатии, имеют размерность давления (МПа)

согласно приведенным таблицам значений. В выражении 2.5 эти параметры перемножаются и прибавляются к величине H_p , имеющей размерность давления. Это приводит одновременно к противоречиям в размерностях в 2.4 и 2.5. Использование символа точки в обозначениях 2.7 также неудачно, так как обычно она используется для скоростей величин. В целом, представленную в 2.1-2.12 модель с учетом небольших корректировок можно было бы свести к стандартной записи обобщенного критерия Друкера-Прагера, для которого обозначения величин и их физический смысл подробно описаны в литературе, а потому изложение материала в работе стало бы более ясным.

2) Формула 2.12: не отмечено явно, учитывает ли данная формула разный характер деградации при растяжении и сжатии.

3) Раздел 2. При построении ячейки стоило бы рассмотреть несколько конфигураций распределения волокна в ячейке, а также увеличение рассмотреть влияние размера ячейки для верификации.

4) Результаты рисунка 2.12. Недостаточно подробно описан эффект малоциклового нагружения. По графикам видно, что после разгрузки и последующего нагружения напряжения возвращаются в исходную точку, т.е. эффекта циклического нагружения нет. Возможно, стоило бы рассмотреть циклы растяжение-сжатие.

5) Таблица 2.5. Термин “погрешность расчета” не очень подходит, так как речь идет в целом о соответствии определяемых в работе параметров модели разрушения значениям, представленных в других работах.

6) Позволяет ли представленная модель на основе жгутов описать эффекты разномодульности при растяжении-сжатии, и нелинейного упругого деформирования в целом?

7) Глава 4. Не совсем понятно, как именно используются результаты предыдущих глав для модели материала при расчетах щелевых обтекателей. На уровне ячеек и моделей жгутов были получены данные о характере нелинейного деформационного поведения, определены некоторые параметры

для модели эффективного материала, но для какой модели материала они в итоге использованы чётко не написано.

8) В работе имеется существенное количество опечаток.

Заключение

Приведенные замечания не снижают общей ценности работы и касаются отдельных аспектов и особенностей, тогда как основная часть работы выполнена методологически корректно. Представленная к защите диссертация является законченной, актуальной научно-квалификационной работой, а ее тема соответствует заявленной специальности. Полученные в диссертации результаты исследования обладают научной новизной, представляют, как научный, так и практический интерес.

Диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям Положения о присуждении учёных степеней, утверждённого постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24 сентября 2013 года, а ее автор, Акулин Петр Владимирович, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.14. – «Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов».

Официальный оппонент – кандидат технических наук, старший научный сотрудник Центра технологий материалов Сколковского института науки и технологий.

Адрес: Большой бульвар д. 30, стр. 1, Москва 121205, Россия

E-mail: a.fedorenko@skoltech.ru

Телефон +7(917) 526 97 05

А. Федоренко / *Федоренко А.Н.*
15.11.2025

Подпись А.Н. Федоренко удостоверяю.

РУКОВОДИТЕЛЬ ОТДЕЛА
КАДРОВОГО АДМИНИСТРИРОВАНИЯ
Гук О.С.

с отзывом ознакомил
Акулин П.В.
18.11.25.

