

## ОТЗЫВ

официального оппонента доктора технических наук Митрофанова Олега Владимировича на диссертацию Юргенсона Сергея Андреевича «Изменение несущей способности авиационных конструкций из композиционных материалов в зависимости от силового воздействия», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.02 «Проектирование, конструкция и производство ЛА»

**Актуальность** темы исследования несущей способности конструкций из композиционных материалов (КМ) в современных условиях не вызывает сомнений. Увеличение объемов внедрения КМ, прежде всего в конструкциях самолетов гражданской авиации, влечет за собой более пристальное рассмотрение вопросов безопасности полетов, стабильности характеристик КМ и, как следствие, повышенного внимания к средствам неразрушающего контроля (НК). То есть, автор поставил перед собой актуальную задачу исследования изменений характеристик КМ и несущей способности авиационных конструкций из КМ методами НК, в частности, методом вычислительной рентгеновской томографии (ВРТ), в зависимости от силового воздействия.

Диссертация содержит 129 страниц текста, состоит из введения, 4-х глав и заключения, содержит 64 рисунка, библиографию из 112 наименований.

Во **введении** обоснована актуальность и практическая значимость научной проблемы. Проведен обзор литературных источников, посвященных созданию композитных конструкций. Сформулированы цели и задачи диссертационной работы.

**Первая глава** носит обзорный характер. Рассмотрены особенности применения КМ для авиационных конструкций, а также приведен перечень работ, касающихся этапов конструирования композитных конструкций. Приведен обзор методов экспериментального определения некоторых основных свойств КМ (см. табл.1 диссертации на стр.25), а также традиционная классификация дефектов КМ.

Сразу следует отметить, что результаты диссертационной работы следует отнести к изменению расчетных характеристик материалов (*в соответствии с терминологией авиационных правил АП-23 и АП-25*) с учетом наличия и развития микродефектов.

В диссертации представлен качественный анализ методов НК. На основе проведенного анализа выбран метод вычислительной рентгеновской томографии (ВРТ) и обосновано его применение исходя из результатов

анализа структурной плотности КМ с обеспечением высокой точности измерений.

В заключение первой главы автор делает вывод о том, что элементарные образцы (ЭО) являются основой для прогнозирования несущей способности планера самолета и принимаются в качестве объекта исследования в диссертационной работе.

Следует отметить, что ЭО, являются основой для определения, прежде всего расчетных характеристик материалов и результаты удобны для сравнения различных КМ. Более информативными для определения фактической несущей способности конструкции являются конструктивно-подобные образцы (КПО) и агрегаты в целом. Например, стандартные ЭО при ударных воздействиях испытывают при стандартных граничных условиях. Результаты ударных воздействий на КПО, с реальными граничными условиями, и стандартные ЭО могут значительно отличаться.

Исходя из приведенных рассуждений, в представленной работе термин “несущая способность” следует относить к ЭО, но не к конструкции в целом, поскольку ее поведение (*несущая способность*) определяется многими факторами (граничных условий основных силовых элементов и т.д.) и определение изменений фактических расчетных характеристик КМ будет только частью исходных данных для нелинейных задач о несущей способности.

Во второй главе проведен анализ количественных критериев, применяемых для анализа структурной плотности материала с использованием метода ВРТ. Под структурой материала в диссертации понимается комплекс из укладки, компонентов материала и дефектов. Следующие элементы математической статистики выбраны для анализа распределения плотности материала:

- среднее значение линейного коэффициента ослабления (ЛКО) ( $\mu_c$ ),
- минимальное значение ЛКО ( $\mu_{\min}$ ),
- максимальное значение ЛКО ( $\mu_{\max}$ ),
- среднеквадратичное отклонение ЛКО ( $S$ ).

Приведено обоснование и показана взаимосвязь количественных критериев со структурной плотностью материала. Следует отметить, что количественные критерии, как и традиционные критерии прочности для КМ, не конкретизируют последующий механизм разрушения.

Для оценки точности подхода автор провел сканирование углепластиковых образцов после приложения 4-х уровней нагрузки (5%, 10%, 20% и 40% от разрушающей нагрузки) по шести сериям сечений



(включая исходное и разрушенное состояние) и привел результаты практических исследований.

В третьей главе приведены основные положения предлагаемой в диссертации методики. Автор привел схему этапов разрушения композитов, традиционную классификацию критериев прочности КМ и составляющие алгоритма анализа прогрессирующего разрушения. Также приведено детальное описание специального стенда для проведения исследований и представлена методика исследований.

Четвертая глава посвящена практическим результатам анализа экспериментальных исследований композитных образцов. Для углепластиковых образцов 2-х серий показаны изменения зависимостей линейного коэффициента ослабления ЛКО  $\mu_c$ ,  $\mu_{\min}$ ,  $\mu_{\max}$  и среднеквадратичное отклонение ЛКО (S).

Таким образом, в целом по представленной диссертационной работе следует отметить следующее.

Диссертационная работа обладает **научной новизной**, которая заключается в разработке методики оценки изменения расчетных характеристик КМ с учетом возможности наличия внутренних микродефектов и, как следствие, возможного изменения несущей способности конструкции в целом на всех этапах проектирования.

**Обоснованность и достоверность** научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, обусловлена применением фундаментальных методов строительной механики и прочности авиационных конструкций из КМ и использованием современного экспериментального оборудования.

**Практическая ценность** работы заключается в возможности исследований изменения фактических характеристик материалов элементарных и конструктивно – подобных образцов из КМ на всех этапах создания авиационных конструкций, включая сертификационные испытания.

**Апробация работы.** Результаты работы докладывались на многочисленных международных, всероссийских и отраслевых научно – технических конференциях и семинарах.

По теме диссертации опубликовано в соавторстве 15 научных работ, в том числе 3 - в изданиях одобренных ВАК, а также получен патент на

полезную модель, заявителем и патентообладателем которого является только Юргенсон С.А.

Следует отметить ряд недостатков диссертации.

1. Работа выполнена на стыке трех специальностей 05.07.03 (Прочность и тепловые режимы), 05.11.13 (Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий) и 05.07.02 (Проектирование, конструкция и производство ЛА), что затрудняет оценку полноты и ценности полученных результатов по заявленной специальности.

2. Рентгеновские установки ограничены по габаритам и их применение возможно в ограниченном объеме со средствами специальной защиты. То есть, применение метода ВРТ возможно для элементарных и конструктивно-подобных образцов.

3. Название диссертации не соответствует ее содержанию. То есть, задача изменения характеристик материалов при силовом воздействии, рассмотренная в диссертации, является более простой по сравнению с традиционными задачами исследования несущей способности с позиций, например, нелинейных (геометрически и физически) проблем статической прочности. При интенсивном силовом воздействии характеристики материалов могут изменяться в локальных зонах максимальных напряжений, происходит перераспределение внутренних силовых факторов в зависимости от изменений жесткостных характеристик и далее следует рассматривать итерационную задачу о несущей способности с изменяющимися характеристиками материалов.

4. Целью работы, как указано на стр.4 автореферата, является *“повышение несущей способности ...за счет оценки изменения структуры материала при различных конструктивно-технологических решениях”*. Фактически же следует рассматривать различные варианты конструкции с наибольшей несущей способностью.

5. На 20 стр. диссертации автор анализирует процессы проектирования конструкций из ПКМ. В частности, указано, что *“процесс проектирования и определения конструктивно-технологических параметров носит вариативный характер и не сформирован единый подход, большая часть работ переносится на экспериментальную отработку”*. С этим нельзя согласиться, поскольку статические и ресурсные испытания, являются частью расчетно-экспериментального обоснования и носят подтверждающий характер.

6. В диссертации (на стр.20-21) автор рассмотрел только самый начальные этапы проектирования композитных конструкций без упоминания



существующих в авиационной промышленности этапов разработки конструкций (*этап технических предложений, аванпроект и т.д.*) или применяемую в последние годы западную систему “ворот” (GATE) с соответствующими требованиями на каждом этапе или “воротах”. То есть, комплекс работ, по мнению автора, начинается с “выбора типа КМ и силовой схемы конструкции”, а заканчивается “отработкой конструкции в составе планера при статических и ресурсных испытаниях”. На практике между указанными этапами проходит от 8 до 15 лет. То есть, параграф №1.1 диссертации следовало бы изложить более подробно в соответствии с принятыми в отрасли этапами.

7. В автореферате (стр.12) и в диссертации (стр.63) при определении целевых параметров автор приводит прочностные характеристики изотропных материалов  $x=X(E, \sigma_{02}, G, \tau_{02}, \mu, \sigma_B)$ , что очевидно требует отдельных комментариев, поскольку работа посвящена композитным конструкциям.

8. Есть несколько замечаний, связанных со ссылками из списка использованных источников.

Автореферат правильно и полно передает содержание и выводы диссертационной работы.

Несмотря на отмеченные недостатки, диссертационная работа Юргенсона С.А. является законченным исследованием, выполненным на высоком научном уровне. Полученные в работе результаты являются полезными для совершенствования авиационной техники и имеют большое практическое значение.

Диссертация полностью соответствует требованиям ВАК РФ, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а ее автор **Юргенсон Сергей Андреевич** заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.02 - Проектирование, конструкция и производство ЛА.

Зам. Начальника НИО прочности—  
зам. Главного конструктора по прочности,  
д.т.н., доцент

Митрофанов О.В.

Подпись Митрофанова О.В. удостоверяю  
Начальник отдела кадров



Егорова Т.А.