

Отзыв на автореферат диссертации Юргенсона Сергея Андреевича на тему: «Изменение несущей способности авиационных конструкций из композиционных материалов в зависимости от силового воздействия», представленной к защите на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.07.02 – «Проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов».

### Вступление.

27 ноября 2015 года в УК «Роснано» на технологическом семинаре с докладом выступил Генеральный директор ГНЦ ФГУП «ВИАМ», академик РАН Евгений Николаевич Каблов. Он сообщил, что ВИАМ совместно с институтами РАН разработал стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года. Евгений Каблов отметил, что в ВИАМ были определены принципы создания материалов нового поколения. «Мы не говорим о новых материалах, мы говорим о материалах нового поколения, которые невозможно создать без фундаментальных исследований». «Не менее важный вопрос – реализация полного цикла изделия, а также следование принципу неразрывности «материал – технология - конструкция», - добавил руководитель ВИАМ. В настоящее время, по словам Евгения Каблова, одним из перспективных и быстроразвивающихся направлений в создании современных материалов является модифицирование полимерных композиционных материалов наноразмерными частицами с целью придания им специальных свойств. Поэтому с позиций намеченной на период до 2030 стратегией разработки материалов нового поколения и технологий их доводки и переработки под конечные изделия ответственного назначения, подготовленная к защите диссертация полностью укладывается в русло обозначенной стратегии совместных действий науки и производства РФ, она своевременна и актуальна. За последние два десятилетия мировая наука внесла большой теоретический вклад, позволяющий создавать полимерные композиционные материалы (ПКМ) с заданными свойствами. В автореферате диссертации на странице 3 отмечено, что при изготовлении конструкций из ПКМ одновременно происходит формирование материала, что позволяет рассматривать его как комплекс решений, в который входят армирующий материал, связующее, укладка, тип технологического процесса и его параметры, а также конструктивные решения. Подобный оптимальный технический и технологический симбиоз без использования науки вряд ли возможен. Обладая достаточными ресурсами, передовые зарубежные фирмы развернули активные работы по разработке КМ, в том числе с полимерной матрицей. На решение амбициозной задачи по сокращению массы летательных



аппаратов на 30...50% были привлечены специалисты различных специальностей и создана современная технологическая и испытательная база. В результате: появилось большое количество новых марок композиционных материалов, пригодных для использования в самолётных конструкциях, а также понимание того, что ПКМ имеют недостатки, которые преодолимы, но требуют большого объёма доводочных работ и тестовых проверок на образцах и на готовых узлах и деталях. Эти вопросы достаточно подробно рассмотрены в анализируемой диссертации. На странице 3 Автореферата автор диссертации сообщает: «Характерной особенностью ПКМ, по сравнению с металлическими материалами, является наличие внутренних дефектов, что требует применения неразрушающих методов контроля на большинстве этапов изготовления конструкции. Для ПКМ также свойственно наличие высокого разброса свойств при изготовлении (порядка 15-20%) и значительное влияние типа технологического процесса и его параметров на несущую способность конструкции. Поэтому для подтверждения прочностных и эксплуатационных характеристик изделий из ПКМ используется большой объём испытаний элементарных и конструктивно-подобных образцов, что увеличивает стоимость разработки. Ниже по тексту автор диссертации даёт определение несущей способности авиационных конструкций и рекомендует: «С целью повышения точности определения несущей способности конструкций из ПКМ необходимо уточнение, расширение и обобщение возможностей математического аппарата и методов экспериментального исследования. Одним из возможных путей исследования поведения конструкции при внешних воздействиях является совмещение прочностных испытаний и применение методов неразрушающего контроля. Такое решение позволяет получить значительный объём информации для анализа и определить процессы изменения в материале при воздействии нагрузки или факторов внешней среды». Он также утверждает, «что для ПКМ структура материала значительно влияет на несущую способность конструкции. Это связано с наличием дефектов, полученных как при изготовлении, так и при эксплуатации». В наши дни передовые иностранные фирмы, имея за плечами накопленный опыт работы с КМ, способные вкладывать большие финансовые ассигнования на продолжение теоретических исследований, на создание новых технологий и технологического оборудования, на разработку новых методов неразрушающего контроля и на приобретение первоклассного оборудованием неразрушающего контроля – способны широким фронтом совершенствовать уже освоенные марки ПКМ и создавать новые. Поэтому композиционные материалы с новыми потребительскими свойствами они непрерывно внедряют в военную и гражданскую продукцию. Если обратиться к не слишком давней истории, то сразу же вспоминаются несколько эпизодов. Вспомним, например, что



передовые иностранные фирмы раньше, чем наша промышленность, развернули поисковые работы по ПКМ, затем разработали углерод - углеродные КМ, а затем из этих материалов освоили изготовление препрегов. Первые работоспособные широкоходные компрессорные лопатки также появились на Западе (изготовлены они были из углерод - углеродных препрегов с нанодобавками). Если проанализировать наше время, то по части разработки новейших КМ Запад по-прежнему впереди. Западные фирмы, используя ранее накопленный опыт разработки слоистых композиционных материалов и современную научную и технологическую базу, работают по изготовлению «чёрного» крыла для перспективных самолётов. Создание композиционного крыла – задача очень сложная и ответственная, она может продолжаться длительное время с соответствующими финансовыми затратами пока не будет полностью решена поставленная задача. Например, если затратив немалые финансовые средства, коллективу специалистов разных профессий удастся создать лёгкое и надёжное крыло, то это можно приравнять к подвигу. Отечественное самолётостроение по части применения в новых разработках или в модернизируемой технике ПКМ всё ещё пребывает в роли догоняющих. В РФ с некоторым отставанием от Западных фирм, в настоящее время развёрнуты работы по созданию композиционных панелей и других крупных узлов и деталей самолётов разного класса, в том числе ведутся работы и по самолётным крыльям из КМ. Несмотря на имеющиеся финансовые и технологические трудности, российские специалисты уверены, что при достаточном финансировании отечественное «чёрное крыло» необходимой надёжности и работоспособности удастся создать в ближайшие два-три года. Из Правительственных кругов РФ всё чаще даются обещания, что по мере экономического укрепления РФ будут приняты меры по укреплению отраслевой науки, технологического обеспечения новых перспективных разработок, создания условий, чтобы молодые учёные оставались в России и свой талант, знания и молодую энергию направляли на благо России. Даже в условиях надуманных санкций, на развитие перспективных технологий деньги выделяются. В том числе на разработку композитов и композитных технологий. Это позволяет сократить отставание РФ от зарубежных партнеров по главным направлениям исследований и выпуску инновационной продукции. Например, пусть с некоторым отставанием, но развёрнуты работы по увеличению использования в самолётах КМ (это - силовые высоконагруженные и ответственных узлы планера самолёта, панели и детали фюзеляжа. Из углерод – углеродных материалов в настоящее время в РФ изготавливают крылья для самолёта МС-21. На проходящем испытании двигателе ПД-14 ряд ответственных корпусных деталей изготовлены из композитных материалов. Доведённые до высокого уровня надёжности, новые



КМ и технологии осваиваются в других отраслях. Например, при выпуске новых автомобилей, спортивных товаров и многих других товаров, по качеству и потребительским свойствам, не уступающим западной продукции. Возвращаясь к тексту Автореферата диссертации, следует отметить, что Автор диссертации, проведя предварительный анализ наиболее важных и ещё не полностью решённых проблем по ПКМ, выделил для анализа пять наиболее важных проблем, которые названы в разделе «Целью работы является...» (см. страницы 4 и 5). Намеченные работы по пяти пунктам фактически определили объем диссертации и её качество. Программа из пяти пунктов составлена качественно: после проведённого анализа – разработка методики и технического решения по исследованию состояния структуры материала конструкций из ПКМ при воздействии нагрузки и проверка разработанного решения и методики на основе элементарных образцов из ПКМ. Такой порядок работ представляется убедительным и логичным. На странице 7 Автореферата диссертации приведёно краткое содержание диссертации. Из содержания первой главы диссертации следует, что для разработки новой конструкции из ПКМ необходимо проведение большого объёма испытаний, связанных с получением необходимых прочностных характеристик. Для первого этапа исследовательских работ необходимо было подготовить большое количество элементарных образцов (более 1600 штук). Это значительно больше, чем при создании новых марок металлических сплавов. На каждый образец необходимо было наклеить тензодатчики и маркеры. Не менее важной стадией работ является неразрушающий контроль. Это связано с наличием внутренних дефектов, которые в общем виде можно разделить на микродефекты, макродефекты и минидефекты, влияющие на поведение и прочностные свойства итогового изделия. На странице 8 представлены 2 рисунка: на первом – схематичная диаграмма построения испытаний для консоли крыла, на втором – Схема контроля качества изготовления на различных этапах технологического процесса. На странице 9 приведена информация, поясняющая как необходимо проводить неразрушающий контроль, чтобы он был качественным. Перечислены виды НК, которые были использованы для получения массива информации. На основании собранной информации лучшим НК признан метод вычислительной рентгеновской томографии (ВРТ). Во второй главе (страница 7) рассмотрено определение количественных критериев, применяемых для анализа структурной плотности материала с использованием метода ВРТ, а также содержится вывод о том, что точность определения объёмной плотности методом ВРТ по сравнению с радиометрическим методом контроля составляет  $\pm 0,4 \%$  при пересчёте значений ЛКО (линейный коэффициент ослабления) в плотность по образцу - свидетелю с известной плотностью. В третьей главе приводятся основные



положения, являющиеся основой разрабатываемой методики оценки конструктивно-технологических решений при совместном применении метода ВРТ и специального стендового приспособления, реализующего силовое воздействие. На странице 13 (на Рис.4) показана Схема этапов разрушения композитов. На Рис.4 перечислены этапы разрушения композитов: 1-начальное состояние, 2-хрупкое разрушение, 3 – накопление микроповреждений, 4- разрушение вследствие потери целостности, 5 – образование макроскопической трещины, 6- рост макроскопической трещины, 7- финальное разрушение, 8 - хрупкое разрушение, как результат накопления микроповреждений. На страницах 14 и 15 –приведён алгоритм анализа прогрессирующего развития разрушения (включает в себя 4 этапа). На Рис.5 представлены общий вид и функциональные элементы стенда для нагружения. На страницах 16 - 20 даётся описание испытательного стенда и подготовка его к проведению испытаний. Рекомендации и советы по проведению испытаний. Диссертация насчитывает 129 страниц, включает 64 рисунка и 7 таблиц.

#### ВЫВОДЫ:

Наиболее существенные новые научные результаты, полученные автором и выдвигаемые на защиту:

1.1.Количественные критерии, являющиеся дополнительным параметром оценки конструктивно-технологических решений и позволяющие анализировать процессы изменения структуры материала в авиационных конструкциях из ПКМ.

1.2.Методика оценки изменений несущей способности авиационных конструкций посредством анализа поведения структуры материала в зависимости от силового воздействия на основе графических моделей зависимости от силового воздействия на основе графических моделей накопления дефектов.

1.3.Графические модели изменения количественных критериев в зависимости от силового воздействия и применяемых компонентов материала, характеризующие структурную плотность элементов авиационных конструкций.

2. Научная новизна диссертационной работы заключается в разработке новой методики оценки изменения несущей способности авиационных конструкций из композиционных материалов при силовом воздействии. Предлагаемая методика позволяет получить новые количественные характеристики развития внутренних дефектов и прогнозировать



эксплуатационное состояние конструкции на ранних стадиях проектирования.

3. Практическая ценность диссертационной работы: результаты диссертационной работы могут быть использованы в ОКБ при принятии решения на начальных этапах разработки конструкции из ПКМ в части выбора материала и отработки технологических процессов производства. Они позволяют проводить оценку поведения материала, уточнять существующие прочностные модели и количественно сравнивать существующие материалы и технологии с целью обоснования их выбора для конкретного элемента конструкции. Такие результаты работы могут в проведении научно-исследовательских и поисковых работах в профильных НИИ.

4. По результатам проведенных работ получен Патент на полезную модель № 157585 «Устройство для определения структуры материала, преимущественно полимерного композиционного материала» от 22.09.2014 г

5. На основе проведенного анализа Автореферата диссертации на тему: «Изменение несущей способности авиационных конструкций из композиционных материалов в зависимости от силового воздействия», представленной к защите на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.07.02 – «Проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов» считаем, что диссертации соответствует заданной теме, выполнена на высоком техническом уровне, что характеризует автора диссертации Юргенсона Сергея Андреевича как высококлассного специалиста по современным полимерным композиционным материалам (ПКМ), созданным для применения в изделиях ответственного назначения, достойного присвоения звания Кандидат технических наук.

Технический директор

Главный конструктор



А.Н. Громов

Д.А. Дьяченко

Исполн: ведущий инженер-конструктор *Г.И. Ширяев* Б.И. Ширяев

*17.10.2016 г.*