

ОТЗЫВ

**официального оппонента на диссертационную работу Евстратова
Сергея Владимировича на тему: «РАЗРАБОТКА
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ
СВЕРХЛЕГКИХ КОМБИНИРОВАННЫХ
МЕТАЛЛОКОМПОЗИТНЫХ БАЛЛОНОВ»** представленную на
соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности
05.07.05 – «Тепловые электроракетные двигатели и энергоустановки
летательных аппаратов».

В диссертационной работе Евстратова С.В. рассмотрена задача создания сверхлегких баллонов высокого давления применительно к летательным аппаратам, включая возможность организации серийного производства для жидкостных ракетных двигателей и двигательных установок.

Автором обосновано выбрана специальность для защиты диссертации – 05.07.05 – «Тепловые электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов», т.к. ее материалы соответствуют формуле специальности и области исследования по п.9, указанных в паспорте специальности.

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, выводов и списка литературы из 88 наименований. Объем работы -151 страница основного текста, включая 64 рисунка и 12 таблиц.

Актуальность темы.

Одним из распространенных конструктивных летательных аппаратов (ЛА) являются сосуды давления, которые применяются в качестве баллонов, газовых аккумуляторов, топливных баков в системах, пневматики, наддува, терморегулирования, управления и жизнеобеспечения ЛА. Сосуды давления также нашли применения в наземных автомобилях, а также в дыхательных аппаратах пожарников, сотрудников МЧС, подводников, аквалангистов.

Среди наиболее важных требований, предъявляемых к конструкциям сосудов давления можно назвать минимальную массу, высокую надежность, максимальный ресурс работы в условиях эксплуатации. Этих требований невозможно достичь без разработки современных прогрессивных технологий и применения полимерных композиционных материалов (ПКМ).

Наряду с традиционными принципа конструирования при применении в системах жизнеобеспечения двигателей ЛА ПКМ должны быть в полной мере учтены и использованы присущие им особенности и преимущества. Одна из этих особенностей состоит в том, что совместно с конструированием элемента необходимо осуществлять и проектирование

его материала, свойства которых достигаются при строго определённых технологиях изготовления (процессы, режимы, оснастка). На этапе конструирования должна быть предусмотрена реализация преимуществ, связанных со специфическими способами изготовления элементов конструкции из ПКМ, которые позволяют повысить эффективность применения.

Поскольку ПКМ технологически создается одновременно с изготовлением изделия, появляется возможность для комплексного решения многих вопросов конструирования, формообразования и сборки изделия, которые могут быть совмещены уже на стадии инженерного проектирования объекта производства с применением современных средств компьютерного моделирования, что в совокупности обеспечивает обоснованность и надежность инженерно-технических решений, при минимальных материальных затратах на стадии подготовительного и основного производства.

Одним из главных преимуществ (ПКМ) по сравнению с традиционными изотропными и однородными материалами является возможность формирования их внутренней структуры, а следовательно, и закономерное распределение свойств в конструкции по усмотрению разработчика. Здесь формирование материала и детали происходит одновременно. Этот фактор, а также состав, свойства и условия переработки исходных материалов (связующих и армирующих наполнителей) определяют необходимость создания специального оборудования. При этом структура производства, технологических процессов и оборудования существенно отличается от традиционного металлического авиастроения. Одновременно значительно уменьшаются объемы металлургических заготовительных производств, сокращается парк металлорежущего оборудования.

К числу технологических аспектов, связанных с повышением эффективности производства элементов двигателей относится достижение заданных стабильных механических характеристик этих материалов путем повышения степени механизации и автоматизации производственных процессов, а также рациональное применение соответствующих видов безавтоклавных технологий.

Одним из основных методов создания композитных конструкций является намотка, которая обеспечивает получение высококачественных изделий. В настоящее время этот метод хорошо отработан для производства большого класса выпуклых оболочек на намоточных станках токарного типа, однако, появление новых материалов оболочек, совершенствования намоточных станков, разработка программных продуктов инженерного проектирования и производства композитных конструкций, делает диссертационную работу Евстратова С.А., посвященную исследованию основных технологических параметров намотки нитью металлокompозитных баллонов и разработка рекомендаций по расчету, выбору траектории намотки и алгоритма расчета движения исполнительных органов станка, а

также разработка инженерной методики проектирования, расчета силовой оболочки корпуса баллона комплекса на прочность и жесткость и технологии их изготовления является актуальной для обеспечения безопасной и безотказной работы двигателей ЛА.

Научная новизна работы.

Научная новизна диссертационной работы заключается в раскрытии взаимосвязи выбора намоточных станков, технологических параметров формования изделий методом намотки углеродными и стеклянными нитями, пропитанными термореактивными связующими эпоксиаминного типа на основе разработанного автором комплексного метода, включающего проектирование, расчет силовой оболочки и технологии производства металлокомпозитных баллонов высокого давления.

Автором предложен программный комплекс CADWIN, который учитывает геометрию лейнера, технологические параметры намотки и виды намотки по слоям. Причем все это представлено в графическом виде, что позволяет оперативно вносить изменения в разные варианты производства баллонов. Полученные автором расчетные траектории углеродных лент препрега при намотке позволило решить задачу определения особенностей движения исполнительных органов намоточного станка и вида намотки.

Достоверность и обоснованность результатов и выводы.

Решение поставленных в диссертации задач обеспечивается за счет применения современных методов исследования и испытательных стендов готовых изделий — металлокомпозитных сосудов, а также специализированного программного обеспечения, средств композитной и статической обработки экспериментальной части работы, хорошей сходимостью расчетно-аналитических и экспериментальных исследований, позволивших автору спроектировать, изготовить и испытать эксплуатационные баллоны БК-7 и БК-8, изготовленных фактически по одному и тому же технологическому процессу — методу «мокрой» намотки препрегом на основе стеклянной и углеродной ленты и базавтоклавному отверждению эпоксидного связующего.

Значимость результатов, полученных автором для науки и практики.

Автором даны научно-обоснованные рекомендации по проектированию, расчетам на прочность и технологии изготовления сверхлегких металлокомпозитных баллонов высокого давления для

ракетных двигателей. На примере баллонов БК-7 и БК-8 доказана возможность практической реализации разработанных методов и методик.

Для намотки силовых оболочек, при непосредственном участии автора, спроектирован и изготовлен специальный станок WM-2.

При намотке тонкостенных силовых оболочек БК-8 используется ряд оригинальных технических решений. Например, заполнение для повышения жесткости лейнера при намотке водой или воздухом.

При создании облегченного комбинированного композитного баллона с цилиндрическим сверхтонким лейнером сварные швы герметизирующего лейнера выведены из зоны воздействия моментных напряжений, т.е. выведены из изотензоидной (сферической) части баллона в цилиндрическую часть, что позволило значительно уменьшить массу сконструированного баллона относительно баллонов аналогичного типа.

Результаты работы внедрены в ОАО «Композит» в виде технологической и проектно-конструкторской документации по разработке и созданию сверхлегких и сверхпрочных баллонов высокого давления для изделий спецтехники, что подтверждено заключением экспертной комиссии о состоятельности технологического процесса.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертационной работы.

Актуальность диссертационной работы определяет необходимость её расширенного внедрения на предприятиях производства энергоустановок летательных аппаратов. Представляется, что диссертационная работа С.В. Евстратова открыла интересные перспективы для использования методических рекомендаций выбора оборудования намотки металлкомпозитных баллонов для ракетных двигателей и методики проектирования и расчета силовой оболочки корпуса баллона.

Сформулированные соискателем выводы и практические рекомендации могут быть учтены и использованы ведущими предприятиями ракетно-космического комплекса при проектировании элементов конструкции двигателей.

Разработанные автором методики проектирования и расчета силовой оболочки корпуса баллона (вывод 3), а также технологических программ их производства (вывод 2) и полученные данные по разрушению металлкомпозитных баллонов могут быть использованы в учебных пособиях для подготовки бакалавров и магистров по направлениям «Ракетные комплексы и космонавтика», «Материаловедение и технология материалов», а также на курсах повышения квалификации и переподготовки специалистов авиационной и ракетно-промышленной отрасли.

Подтверждение публикации основных результатов работы в научных печатных изданиях.

Основные материалы диссертационной опубликованы в 2 печатных работах и 3х докладах на международном симпозиуме.

Соответствие содержания автореферата основным положениям Диссертации.

Содержание автореферата полностью соответствует основным положениям диссертации и совместно с опубликованными работами в полной мере отражает её содержание.

Замечания по работе.

1. Автор не выделил в отдельную главу объекты и методы исследования, рассмотрев этот материал в главе 5. Кроме этого глава 2 перегружена материалом, носящим общеобразовательный характер.
2. В работе недостаточно экспериментальных исследований с позиции оптимизации технологических параметров изготовления лейнеров, намотки силовой оболочки на поверхность лейнера и отверждения связующего, которые в совокупности обеспечивают качество и надежность работы баллонов в период эксплуатации.
3. Автор не объясняет необходимость исследования различных марок сталей для изготовления корпусов баллонов из ПКМ разного состава — углепластики и стеклопластики. В работе не рассмотрена стадия подготовки поверхности лейнеров перед намоткой препрегов.
4. По содержанию диссертации следует отметить некоторую небрежность: на стр.2 «Содержание» не указаны номера страницы отдельных глав диссертации. В табл. 4.3.1 и других автор не расшифровал параметры показателей свойств волокон и жгутов отдельные, термины используемые автором, не соответствуют общеизвестным в материаловедении, например, термоустойчивость связующих (стр. 101) «сухая» намотка (стр. 29), поликонденсация полиэфирных смол (стр. 45), отвердители – это не ускорители процесса отверждения связующих (стр.45)..

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Указанные замечания не снижают научной и практической значимости работы и носят рекомендательный характер. Диссертационная работа Евстратова Сергея Владимировича «РАЗРАБОТКА

