

А. В. КОНДРАТЬЕВ*Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Украина*

ОБЗОР И АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОЛОГИЙ ОПТИМАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОМПОЗИТНЫХ АГРЕГАТОВ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ

Предметом изучения в статье являются существующие методологии оптимального проектирования композитных конструкций ракетно-космической техники. Целью является выявление путей решения проблемы научного обеспечения создания высокоэффективных агрегатов ракетно-космической техники из полимерных композиционных материалов. Задачи: провести критический обзор и аналитический анализ существующих методов оптимального проектирования композитных конструкций ракетно-космической техники и выявить основные тенденции формирования решения рассматриваемой проблемы. Используемыми методами являются: критический обзор, аналитический анализ и методы системного анализа. Получены следующие результаты. Обсуждена проблема научного обеспечения создания высокоэффективных агрегатов ракетно-космической техники из полимерных композиционных материалов, проанализированы существующие методологии оптимального проектирования агрегатов рассматриваемого класса техники, вскрыты определяющая роль информационных и компьютерных технологий на современном этапе состояния проблемы, а также пути ее решения на основе результатов квалификационных работ. Выводы. Научная новизна полученных результатов состоит в следующем: выявлены основные тенденции развития методологии оптимального проектирования композитных агрегатов ракетно-космической техники и намечены пути их развития. Делаются выводы, что отсутствие завершённых исследований по решению обсуждаемой комплексной проблемы связано с двумя основными причинами. Одной из них является необходимость для такого решения достаточно большого объема результатов, к которому, исходя из сделанного анализа, заметна явная тенденция приближения. Второй причиной является прогнозируемая масштабность комплекса оптимизации проектных параметров в данной многокритериальной проблеме реализации проектов создания композитных агрегатов ракетно-космической техники, которая становится возможной только при современном уровне развития информационных компьютерных технологий и перспективных темпах их роста.

Ключевые слова: агрегаты ракетно-космической техники; полимерные композиционные материалы; оптимальное проектирование; информационные и компьютерные технологии; проблема научного обеспечения

Введение

Мировой рынок космических услуг имеет устойчивую тенденцию по присутствию на нем ограниченного числа государств, куда входит и Украина, обладающих научно-техническим потенциалом создавать и развивать ракетно-космические технологии и предлагающих услуги по выведению разнообразных полезных грузов на орбиты. Конкурентоспособность на этом рынке услуг, связанных с продажей и эксплуатацией ракетно-космической техники (РКТ), зависит от ее совершенства, которое предопределяется в первую очередь на этапе проектирования.

Однако, несмотря на наличие обширной литературы по методам оптимального проектирования агрегатов РКТ, прошедшей за короткое время огромный путь развития, вопросам оптимизации параметров ее изделий пока не уделено должного внимания [1].

Анализ проблемы и постановка цели исследования

Современная РКТ обладает рядом особенностей, выделяющих ее в отдельный класс техники, который требует разработки специфических методов оптимального проектирования [2, 3]. Уникальность РКТ состоит в том, что она, как правило, предназначена для реализации конкретной научно-технической программы, не имеющей аналогов. При этом производство агрегатов РКТ носит мелкосерийный или единичный характер. Изделия имеют исключительную сложность, как в проектировании, так и в производстве, высокую стоимость и должны отвечать высоким требованиям по надежности. Это затрудняет проведение анализа качества изделия и его работоспособности на стадии проектирования, поскольку нет возможности сравнивать его с аналогами [4].

Поиск путей эффективного снижения массы изделий рассматриваемого класса техники особенно в последние десятилетия привел к постоянно нарастающей тенденции использования в ответственных ее агрегатах полимерных композиционных материалов (ПКМ), имеющих ряд уникальных характеристик [5].

Если в случае с металлическими изделиями последовательность оптимального проектирования в известной мере предписана, то с композитами для каждого набора технических требований существует многообразие возможных комбинаций, так как такой материал создается одновременно с конструкцией [6, 7].

Поэтому проблеме оптимального проектирования агрегатов рассматриваемого класса техники в последнее время уделяется значительное внимание [8]. Расширяющемуся внедрению методов оптимального проектирования способствуют также следующие факторы [9]:

- стремительный рост вычислительных мощностей и аппаратно-программных решений [10];

- развитие теоретических аспектов решения проблем оптимизации (топологической, параметрической, многокритериальной и т. д.) [11];

- создание современных ультрапрецизионных и высокопроизводительных производственных технологий [12]. Новейшие аддитивные технологии (3D-печать, Additive Manufacturing), основанные на послойном добавлении материала, позволяют синтезировать оптимальные конструкции сложной формы, ранее нереализуемые на базе традиционных производственных технологий.

Однако реализация этих возможностей связана в первую очередь с научным обеспечением в производстве агрегатов РКТ из ПКМ их высоких и стабильных физико-механических характеристик, закладываемых конструктором в процессе синтеза оптимальных конструктивно-технологических решений (КТР).

Основная часть

Строгое решение задачи оптимального проектирования в механике ортотропных ПКМ приводит к сложным математическим задачам и наталкивается на серьезные трудности при их решении, не позволяющие гарантировать достижения глобального экстремума и, как следствие, считать полученные решения оптимальными (наилучшими) [13]. Поэтому задачи оптимального проектирования композитных конструкций в строгой постановке, как правило, не имеют законченной математической формулировки.

Обсуждаемая проблема изучается давно и всесторонне. Так решению задач по расчету предельно-

го состояния и оптимизации проектных параметров композитных конструкции при различных видах воздействиях посвящено множество исследований – от широко известных монографий до многочисленных статей в различных отечественных и зарубежных изданиях. В последнее время этой проблеме во всем мире уделяется все возрастающее внимание, о чем свидетельствует появление многочисленных публикаций. Из последних работ следует отметить монографии [14 – 20].

Анализ цитированных выше источников показывает, что на практике большое распространение получило понятие «рационального проектирования», которое близко связано с понятием оптимального проектирования. Согласно ряду работ, например [15, 16, 21], термины «оптимальное» и «рациональное» проектирование принято различать следующим образом. Если задача решается в строгой математической постановке, то говорят об оптимальном проектировании, если же речь идет о приближенной процедуре, основанной на некоторых упрощениях и содержащей элементы оптимизации, это принято называть рациональным проектированием [15, 16, 21]. В отличие от оптимального проектирования, эта технология не ставит своей задачей получение наилучшего решения (например, минимума массы или максимума несущей способности), а позволяет лишь гарантировать улучшение параметров изделия в соответствии с выбранным критерием (снизить массу или повысить несущую способность). Смысл использования тех или иных упрощений сводится к тому, что они значительно упрощают постановку и решение оптимизационной задачи. При этом возможны случаи, когда критерии рациональности могут приводить и к оптимальности [15, 16, 21]. Под рациональным также может пониматься и проект, в определенном смысле близкий к оптимальному. Так при проектировании реальных конструкций могут вступать в силу различного рода ограничения, которые часто отодвигают значения принимаемых рациональных параметров от оптимальных [15, 16, 21].

Так в монографии [14] предпринята попытка систематизировать разработанные методы определения предельных нагрузок оболочечных композитных конструкций, находящихся в условиях нестационарного и нестационарного поля температур. В работе исследована устойчивость оболочек при различных видах нагружения, а также изучено влияние схем армирования на предельные нагрузки и деформативность оболочек из стекло-, органико- и углепластика. При этом значительное внимание уделено теории расчета предельных нагрузок, основывающейся на использовании обобщенных характеристик, получаемых на отдельных образцах конструк-

ции. Полученные в монографии данные сравниваются с результатами проведенных авторами экспериментов.

В монографии [15], обобщающей работы авторов, предложены принципы рационального армирования тонкостенных конструкций различного назначения. При этом в качестве критериев рациональности авторами предложены требования равнонапряженности арматуры, равнопрочности связующего, армирования по направлениям главных напряжений и деформаций, максимальной жесткости, теплофизической «прозрачности» или минимальной массы конструкции. На основе проведенного анализа возникающих краевых задач разработаны аналитические и численные методы их решения с приведением многочисленных примеров расчета различных элементов конструкций из композитов.

Монография [17] посвящена рассмотрению проблем анализа, проектирования и изготовления формостабильных и интеллектуальных конструкций из современных композиционных материалов. В работе разработаны модели и алгоритмы, позволяющие оценивать характеристики композитных конструкций и управлять ими при изготовлении и в процессе эксплуатации. Авторами разработана математическая модель напряженно-деформированного состояния (НДС) многослойной композитной конструкции, которая учитывает температурные и технологические воздействия, структурные модели слоистых ПКМ, а также дан анализ конструктивно-технологических факторов и синтез материала термостабильной конструкции.

В монографии [18] даны основы расчета на устойчивость тонкостенных элементов конструкций с дефектами типа отслоений, находящихся под действием статических сжимающих нагрузок. При этом в работе исследуется развитие так называемого «допустимого» отслоения, под которым понимается дефект, форма и размеры которого позволяют эксплуатировать изделие под сжимающим усилием определенное время, в течение которого дефект развивается, увеличивая свои размеры вплоть до его разрушения.

Монография [19] посвящена разработке методов оптимального проектирования конструкций из ПКМ, подверженных волновым и статическим воздействиям различной физической природы (электромагнитным, акустическим, температурным, упругим). Авторами рассмотрены различные аспекты применения необходимых условий оптимальности в волновых задачах синтеза, а также разработана модификация метода нелинейного математического программирования для решения задачи оптимального проектирования оболочечных конструкций с ограничениями, учитывающими требования стати-

ческой прочности и устойчивости, механики разрушения, акустики, жесткостные и конструктивные требования.

В монографии [20] рассматривается математическое моделирование статического деформирования, колебаний и устойчивости составных и подкрепленных оболочек из композиционных материалов при силовом и температурном воздействии. Дискретные модели деформирования строятся на основе кинематических гипотез типа Кирхгофа-Лява и Тимошенко с использованием вариационных принципов теории оболочек. В случае оболочек вращения дискретизация в направлении меридиана основана на методе конечных элементов, при этом перемещения представляются в форме кубического эрмитова сплайна с возможностью разрыва производных в местах стыка разнородных частей, а в окружном направлении – в виде тригонометрических рядов Фурье. При построении моделей разработана методика вычисления интегральных характеристик жесткости оболочек с различными схемами армирования, в том числе пространственными, дано обоснование сходимости численно-аналитического решения краевых задач статики, устойчивости и колебаний оболочек вращения. Оболочки более общего вида моделируются двумерными конечными элементами. Выполнена программная реализация разработанной методики численного моделирования статического деформирования, устойчивости и малых колебаний подкрепленных и составных оболочек вращения с произвольными схемами армирования при силовых и термических воздействиях.

Оригинальный мультидисциплинарный подход к проектированию авиационных конструкций из ПКМ, основанный на сочетании вероятностных методов и конструктивно-технологических средств обеспечения эксплуатационной живучести летательных аппаратов (ЛА), предложен в работах сотрудников ЦАГИ [22].

В основе предложенного авторами подхода [23] должен лежать математический аппарат, позволяющий моделировать многопараметрический процесс создания нового изделия на основе анализа в реальном времени всех ключевых факторов влияния, обеспечивая возможность оценки эффективности различных вариантов конструктивно-силовой схемы (КСС) на самой ранней стадии её создания. Этот математический аппарат должен содержать внутри себя соответствующие базы данных и экспертные системы, по которым осуществляется виртуальное моделирование и анализ вариантов в реальном времени с выбором наиболее оптимального из них по заранее установленным критериям. Однако в настоящее время авторами в рамках предложенного под-

хода лишь выделен ряд критериев выбора конструктивных решений, непосредственно связанных с вопросами проектирования и изготовления элементов конструкций из ПКМ, а также сформулирована задача конструктивно-технологического обеспечения эксплуатационной живучести силовых конструкций из ПКМ, указан ряд особенностей и процедуры реализации данного решения, сводящегося к построению системы анализа эксплуатационной живучести авиаконструкции из ПКМ.

Предложены критерии выбора материалов по уровню повреждаемости и методам ремонта в эксплуатации, технологических процессов – по встречающимся технологическим дефектам и методам контроля качества, ограничениям по габаритным размерам изделий, характерным объемам серии и производительности, а также требованиям по нормативно техническому обеспечению. Выделен ряд критериев выбора конструктивных решений, непосредственно связанных с вопросами проектирования и изготовления элементов конструкций из ПКМ: особенности технологии производства, металлокомпозитные соединения, отверстия и конструктивные вырезы, вопросы эксплуатационной повреждаемости и живучести, контроле и ремонтпригодности.

Практически за каждым результатом приведенных выше работ стоит одна или несколько диссертаций кандидатского или докторского уровня. Типичным примером последних работ, наиболее близких по содержанию к исследуемой проблеме, следует отметить диссертации [24 – 30].

Диссертация А. А. Смердова [24] посвящена разработке методов проектирования ПКМ и конструкций РКТ, содержит обширный обзор публикаций, посвященных задачам оптимального проектирования композитных структур применительно к конструкциям РКТ. В работе предложен новый подход к оптимизации композитных материалов и конструкций РКТ, основанный на объективной оценке взаимосвязи потенциально доступных значений их характеристик. Автором разработаны новые критерии оценки композитных материалов для многослойных структур по совокупности возможных сочетаний их свойств, проведен анализ возможностей создания многослойных материалов с оптимальным сочетанием жесткостных и прочностных характеристик для различных типов композитных элементов конструкций. В работе показаны области рационального применения различных композитных структур, а также развиты новые приемы проектирования размеростабильных композитных конструкций космической техники. Однако, приведенные в этой работе описания используемых методов решения оптимизационных задач и реализующих их программ свидетельствуют о существенной идеализации

представления рассматриваемых объектов и действующих на них внешних воздействий. При оптимизации сложных конструкций, как это обсуждается в самой работе, для анализа их предельных возможностей приходится проводить дополнительные расчеты. Часть программ находится лишь в разработке у автора.

Работа [25] посвящена определению проектов рациональной структуры различных оболочечных конструкций при комбинированном нагружении по условиям начального разрушения и удельной прочности. Автором разработан комплексный метод решения задачи о начальном разрушении произвольных композитных оболочек при многопараметрическом внешнем воздействии. На основе разработанного метода проведено численное исследование начального разрушения композитных стержней, пластин и оболочек при комбинированном внешнем воздействии в зависимости от их относительных геометрических параметров, механических характеристик элементов композиции и их удельного объемного содержания. Однако в данной работе основное внимание уделяется исследованию только прочности композитных изделий, а задачам рационального проектирования конструкций по условиям жесткости или устойчивости лишь дана постановка. При этом для упрощения решения задачи оптимизации параметров композитных оболочек проведена существенная идеализация закона распределения внешних воздействий.

В работе [26] разработаны математические модели и методы определения кратковременной и длительной прочности композитных несущих конструкций ЛА при многофакторном нагружении. Автором предложен научно-методический аппарат оценки запаса несущей способности корпусов ЛА к воздействию многофакторного термосилового нагружения с учетом изменений прочностных и деформационных свойств в процессе длительной эксплуатации. В работе выполнены экспериментальные исследования поведения материалов и конструкций ЛА при моделировании воздействий факторов эксплуатации, а также проведено расчетно-теоретическое исследование теплового и напряженно-деформированного состояния многослойных оболочек корпусов ЛА при действии термосиловых нагрузок. Однако разработанный в данной работе метод анализа и определения расчетных случаев термосилового нагружения корпусов ЛА отличается от известных лишь введением обобщенных показателей действующих нагрузок и способом принятия решений о наиболее неблагоприятном расчетном случае нагружения.

Диссертационная работа [27] посвящена развитию методов получения и исследования необходи-

мых условий рациональности в задачах оптимального проектирования слоистых элементов конструкций. Автором разработан единообразный подход к решению задач оптимального проектирования слоистых, а также предложен ряд новых вычислительных процедур для решения задач синтеза оптимальных слоистых конструкций из конечного набора материалов. Однако полученные результаты позволяют лишь получить представление о возможной структуре оптимальных слоистых идеализированных объектов.

В работе [28] на основе дискретно-структурной теории разработан единый подход к решению задач прочности и устойчивости многослойных тонкостенных элементов конструкций с межслойными дефектами структуры. Автором разработана и апробирована экспериментальная методика оценки достоверности основных положений и результатов работы, кроме того, получено численное решение большого количества тестовых задач. Однако, для рассмотренных в работе задач приводятся только результаты оптимизации без представления о методах решения, что не позволяет обобщить полученные данные.

В работах [29, 30] разработаны методы решения задач нестационарного и термоупругого деформирования многослойных пластин и цилиндрических оболочек под действием силовых и температурных нагрузок. Авторами сформулированы и решены новые задачи оптимального проектирования многослойных пластин и оболочек с изо- и ортотропными слоями с импульсной нагрузки с учетом геометрических и прочностных ограничений. Разработана новая двухуровневая схема оптимального синтеза многослойных анизотропных пластин минимальной массы с наибольшей изгибной жесткостью. Однако применение полученных результатов ограничено из-за принятия существенных допущений при реализации описанных методов, а решение практических задач получено лишь для многослойных оболочек с простейшими очертаниями исходной поверхности.

Представляется необходимым коснуться работ отечественной научной школы Национального аэрокосмического университета им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт» [31]. В активе научной школы ХАИ более 600 научных статей, свыше 80 авторских свидетельств и патентов, 15 докторских и более 70 кандидатских диссертаций, в том числе, Государственная премия Украины в области науки и техники.

Истоки формирования данной научной школы относятся еще к 70-м годам прошлого столетия, когда впервые в нашей стране была поставлена и в значительной степени решена проблема конструи-

рования, расчета на прочность и изготовления композитных агрегатов авиационной техники в работах В. Е. Гайдачука [32].

На протяжении ряда лет серьезными проблемами создания агрегатов ЛА из ПКМ являлись проблемы, связанные со специфическими особенностями соединений композитных элементов конструкций. По-видимому, одной из первых работ, систематизировавших эту проблему, была монография [33]. Практически полным научным решением этой проблемы явились работы Я. С. Карпова [34], обобщенные в его монографии [35]. В работе [36] предложены новые математические модели нахлесточных клеевых соединений композитных агрегатов РКТ.

В работе [37] была поставлена и решена проблема экологической безопасности и безопасности производственной жизнедеятельности в процессах проектирования изделий авиакосмической техники из ПКМ.

Весьма информативный материал, касающийся научных основ создания прецизионных суперлегких сотовых конструкций космического назначения, представлен в трудах В. И. Сливинского, обобщенных им в докторской диссертации [38]. Автором была предложена концепция, сущность которой состоит в предложенном методе аналитического прогнозирования предельно возможного снижения поверхностной массы сотовых конструкций с учетом современных и перспективных технологических возможностей их изготовления. Результаты этих и других работ научной школы ХАИ нашли отражение в докладах на международных конгрессах по аэронавтике [39 – 46].

Выделенные выше работы, в том или ином аспекте относящиеся к рассматриваемой проблеме, объединяет то, что большинство предложенных в них подходов реализуют довольно близкие по содержанию аналитические математические модели, требующие соответствующей идеализации представления конструкции и видов внешних воздействий на нее. Погрешности, вносимые этой идеализацией, могут не только нейтрализовать преимущества исходных аналитических моделей, но и привести к несоответствию реальной несущей способности изделия прогнозируемой. В ряде случаев задача оптимизации формулируется как задача о минимизации некоторого функционала (чаще всего массы) при определенных ограничениях геометрического, механического или технологического характера. При этом принятые расчетные схемы рассматриваемых типовых технологических дефектов композитных агрегатов также предельно упрощены, что не позволяет обобщить полученные результаты для выявления взаимодействия технологических факто-

ров и их совместного влияния на несущую способность рационального варианта конструкции.

Попыткой решить эту проблему можно считать диссертацию В. А. Коваленко [47]. Автором получен ряд весомых результатов, среди которых новый подход к оценке и прогнозированию квалитетических показателей качества изделий РКТ; многоуровневый классификатор технологических дефектов изделий данного класса из полимерных композиционных материалов; математические модели, методы и методики нормирования полей допусков на микро- и макро-дефекты, возникающие на разных этапах производства изделий; общие принципы и правила проектирования технологических процессов, обеспечивающих регламентированное качество изделий и ряд других результатов.

В других случаях решение задачи строится на основе некоторых эвристических дополнительных предположений (равнопрочность, равнодеформируемость и т.п.), выполнение которых по мнению авторов гарантирует улучшение параметров изделий. Так же следует отметить, что при проведении оптимизационных расчетов рассматривается, как правило, характерно малое число варьируемых параметров. Учитывая, что реальные композитные конструкции РКТ имеют довольно большое количество проектных параметров, обобщение предлагаемых в рассмотренных работах подходов выглядит проблематичным. Как правило, в рассмотренных работах при оптимизации объектов РКТ рассматривались отдельно несовместные виды нагружения, для каждого из которых в отдельности были получены рациональные параметры конструкции. В подавляющем большинстве работ рассмотрен типовой подход к оптимальному проектированию конструкций, подверженных многофакторным воздействиям (статическим силовым, тепловым, динамическим и т.д.), предусматривающий, как правило, деление общей задачи на ряд подзадач по получению рациональных параметров для каждого типа воздействия. В итоге даже оптимальные порознь решения полученных задач не обеспечивают интегральной оптимальности итоговой конструкции. При этом учет конструктивных, технологических и любых других ограничений проведен достаточно упрощенно.

Также в силу того, что в процессе эксплуатации РКТ, а несущие отсеки головного блока ракетносителей (РН) в особенности, подвержены интенсивному тепловому воздействию, то при оптимальном проектировании необходимо обеспечить не только несущую способность их конструкций с учетом наличия повышенных температур, но и обеспечить допустимые для эксплуатации диапазоны температур их наружной и внутренней поверхностей [48]. Величину температуры наружной поверхности

композитных агрегатов РН обычно стараются обеспечить такой, при которой не происходят структурные превращения в ПКМ (обычно это температура стеклования) и не нарушаются адгезионные свойства применяемых клеев [48, 49]. При этом для обеспечения допустимого диапазона температур применяются всевозможные теплозащитные покрытия, масса которых может быть соизмеримой, а в некоторых случаях даже больше, чем собственно масса силовой конструкции [2, 3]. Допустимый диапазон температур для внутренней поверхности несущих отсеков головного блока определяется существующими жесткими требованиями к внутреннему пространству РН. Так, к примеру, для космического аппарата, находящегося внутри головного обтекателя, тепловой поток от конструкции обтекателя может быть недопустимым по условиям его эксплуатации, что вызывает необходимость применения теплоизоляции на основе кремнеземистого или кварцевого волокна, что существенно уменьшает массу и объем полезного груза, выводимого РН на орбиту [16]. Однако допустимую для эксплуатации температуру внутреннего пространства несущих отсеков головного бока РН можно обеспечить не только наружным теплозащитным покрытием и внутренней теплоизоляцией, но и учетом при оптимальном проектировании теплоизолирующих свойств применяемых материалов, а также особенностей используемых КСС. Например, в ряде работ [16, 50] указывается, что применение сотового заполнителя в конструкциях, подверженных тепловому воздействию, позволяет существенно снизить массу необходимой теплоизоляции. Таким образом, использование теплоизоляционных свойств применяемых материалов и особенностей КСС может позволить снизить массу необходимой теплоизоляции, что позволит повысить экономическую эффективность используемых несущих отсеков головного блока РН. Однако в существующей инженерной практике задачу выбора рациональных конструктивных параметров силовой конструкции и теплозащитного покрытия обычно разделяют на две обособленные (так называемый дифференциальный подход) [2, 3, 48]. Сначала выбирают параметры теплозащиты, обеспечивающей заданный температурный режим конструкции, а затем из условия обеспечения несущей способности выбирают параметры конструкции, не учитывая при этом ее теплоизоляционных свойств. Такой подход, в частности для головных обтекателей, приводит к необходимости применения тяжелой теплоизоляции, обеспечивающей допустимую эксплуатационную температуру подобтекательного пространства, что в итоге приводит к существенному увеличению массы готового изделия.

В настоящее время в основе научно-технического обеспечения эффективности оптимального проектирования и производства агрегатов РКТ из ПКМ, начиная с вопросов конструкторской и технологической подготовки, выбора рациональных КТР и их реализации, лежат информационные технологии, получившие в последнее десятилетие интенсивное развитие и применение, особенно за рубежом [51]. Передовой опыт ведущих аэрокосмических предприятий, занимающих лидирующие позиции на мировом рынке, свидетельствует о том, что проектирование и производство технически сложных изделий в современных условиях становится невозможным без использования технологий информационной поддержки изделия, сгруппированных в настоящее время под общим термином – CALS-технологий (Continuous Acquisition and Life cycle Support – непрерывной информационной поддержки всех этапов жизненного цикла изделий) [52, 53]. На сегодня в мировой практике лидерами внедрения информационных технологий в целом и CALS-технологий в частности являются такие крупнейшие аэрокосмические организации, как Boeing, Airbus, Lockheed Martin, Dassault Aviation, которые не только широко используют в своих проектах данную стратегию, но и активно влияют на ход разработки самих программных продуктов и новых концепций развития информационных технологий [11, 12, 51].

Успешная реализация стратегии CALS ведущими компаниями-лидерами из различных отраслей машиностроения предусматривает развитие концепции «Simulation-Based Design» – компьютерного проектирования конкурентоспособной продукции, основанное на эффективном и всестороннем применении CAD-систем (Computer-Aided Design) мирового уровня и конечно-элементного моделирования (Finite Element Simulation, FE Simulation; Simulation & Analysis, S&A) в рамках программных CAE-систем [11, 12, 51]. В основе концепции «Simulation-Based Design» лежит современный универсальный и мощный метод конечных элементов (МКЭ; Finite Element Method, FEM) и передовые компьютерные технологии, тотально использующие современные средства визуализации [54, 55].

В последние годы специалисты ведущих мировых и отечественных промышленных компаний приобрели разнообразный положительный опыт реализации сложных проектов, обязанных своим успехом, в первую очередь, применению именно CAE-технологий. В качестве главных причин этого можно указать следующие [11, 12, 51]:

– стремительное и регулярное увеличение вычислительной мощности компьютеров за последние 30 лет. Если раньше для полномасштабного модели-

рования требовались суперкомпьютеры, то сегодня для тех же расчетов достаточно кластера из рабочих станций или персонального суперкомпьютера, «стоимость покупки и владения» которого значительно меньше стоимости больших массивно-параллельных высокопроизводительных вычислительных систем, объединяющих в себе тысячи многоядерных процессоров;

– значительное расширение спектра функциональных возможностей CAE-систем, позволяющих на основе рациональных математических моделей, обладающих высоким уровнем адекватности реальным объектам и физико-механическим процессам, чрезвычайно быстро выполнять компьютерное моделирование и получать достоверные результаты;

– признание ведущей роли наукоемкого компьютерного инжиниринга для ускорения выпуска новой конкурентоспособной продукции, повышения качества продукции и снижения финансовых и временных затрат на разработку новых образцов, понимая, что во всех отраслях промышленности основной является задача – «создание глобально конкурентоспособной и востребованной на рынке продукции нового поколения в кратчайшие сроки».

Опыт ведущих предприятий ракетно-космической отрасли стран СНГ и дальнего зарубежья по применению рассматриваемых систем изложен в ряде обзорных работ, например [56 – 58].

Широкие возможности современных CAE-систем, позволяющих отказаться от аналитических моделей определения НДС в пользу имитационного моделирования объекта, делает возможным частично решить часть относящихся к рассматриваемой проблеме задач. Неоспоримым преимуществом использования данных комплексов является возможность исключения ряда погрешностей при определении НДС, присущих или связанных с использованием аналитических моделей, их высокая точность и полнота рассчитанных картин НДС, позволяющие более тщательно проанализировать особенности работы основных элементов конструкции, а также выявить потенциально опасные зоны. Возможность проведения многокритериальной оптимизации с использованием ограничений разного типа для большого числа одновременно варьируемых параметров, с управлением ходом процесса в программном комплексе конечно-элементного анализа позволяет существенным образом более полно реализовать скрытые резервы проектируемой конструкции [9, 59]. Однако данный подход к оптимизации позволяет решить лишь конкретную задачу и, как правило, не дает возможности обобщения полученных результатов с учетом технологических, экономических и других ограничений [60]. Полученные в этом направлении научные результаты достаточно инте-

ресны, но далеко не охватывают всего круга рассматриваемых задач [9, 11].

Попытка решить проблему снижения массы композитных сотовых конструкций для РКТ путем оптимизации их параметров на основе синтеза конечно-элементных моделей и аналитических зависимостей была предпринята в трудах научной школы Национального аэрокосмического университета им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт» [61 – 63]. Авторами получены результаты, включающие в себя разработанную и реализованную на примере реальных изделий – головного обтекателя РН «Циклон-4» концепцию минимизации массы многоотсековых трехслойных оболочек из ПКМ с сотовым наполнителем с многоэтапным алгоритмом реализации, что позволило провести довольно глубокий уровень одновременной оптимизации в пределах каждого отсека схемы укладки несущих обшивок, геометрических параметров сотов и шпангоутов с учетом ухудшений их физико-механических характеристик, вызванных наличием неизбежных технологических отклонений в пределах регламентированных допусков и теплового воздействия на конструкцию при приложении к ней практически всего спектра внешних воздействий.

Заключение

Приведенная информация о состоянии оптимального проектирования изделий РКТ из ПКМ свидетельствует о достаточно высоком уровне решения обсуждаемой проблемы. Различные аспекты реализации проектов создания композитных агрегатов ЛА нашли отражение и решение в монографиях и докторских диссертациях ученых различных организаций. Большой вклад в решение проблемы научного обеспечения внедрения ПКМ в авиационно-космическую технику внесли ученые отечественной научной школы ХАИ. Существующий задел, связанный с решением обсуждаемой проблемы оптимального проектирования композитных агрегатов РКТ, содержится также в монографии [64], написанной при участии автора. В монографии разработана концепция оптимизации и реализующий ее проектный комплекс выбора рациональных конструктивно-технологических параметров агрегатов РКТ из ПКМ с учетом существующего отечественного уровня их производства.

Сущность предлагаемой концепции состоит в следующем:

- в интегрированной компьютеризации всего жизненного цикла проектируемого объекта, включающей в себя одновременное решение задач проектирования, технологии производства, эксплуатации, экологии и безопасности производственной жизнедеятельности;

- в научно обоснованном прогнозировании предельно возможного повышения эффективности агрегатов РКТ с учетом существующего уровня их производства;

- во вскрытии сопутствующих существующему уровню производства агрегатов РКТ типовых дефектов и установлении их потенциальной опасности для штатного функционирования изделий в эксплуатации.

В рамках предложенной концепции авторами разработаны:

- комплексный подход к оптимальному проектированию несущих отсеков головного блока РН различных КСС, отличительной чертой которого является возможность многофакторной оптимизации параметров агрегатов рассматриваемого класса при обеспечении регламентированной несущей способности при одновременном силовом и тепловом нагружении с учетом технологических, эксплуатационных, экономических и экологических ограничений, соответствующих существующему уровню их производства.

- концептуальный подход к повышению эффективности композитных каркасов панелей солнечных батарей космического назначения, позволяющий синтезировать КСС, обеспечивающие эффективное восприятие конструктивными элементами действующих нагрузок и выполнение функциональных задач;

- научные основы рационального проектирования прецизионных конструкций космического назначения, позволяющие реализовать алгоритм определения рациональной структуры пакета ПКМ, обеспечивающий компромиссное сочетание в соответствии с предложенными равноценными критериями абсолютных величин коэффициента линейного температурного расширения для максимальной прецизионности изделия.

Однако обобщая современное состояние проблемы создания эффективных композитных конструкций РКТ, можно констатировать, что при наличии большого количества публикаций, в том или ином аспекте относящихся к рассматриваемой проблеме, в настоящее время нет завершенных крупномасштабных комплексных исследований, объединяющих в научном плане (теоретическом, экспериментальном и организационно-методологическом) единым концептуальным подходом все обсуждаемые выше вопросы. Отсутствие завершенных исследований по решению обсуждаемой комплексной проблемы, по-видимому, связано с двумя основными причинами. Одной из них является необходимость для такого решения достаточно большого объема результатов, к которому, исходя из сделанных выше ссылок, заметна явная тенденция при-

ближения. Второй причиной является прогнозируемая этими источниками масштабность концепции оптимизации проектных параметров в данной многокритериальной проблеме реализации проектов создания конструкций РКТ из ПКМ, которая становится возможной только при современном уровне развития информационных компьютерных технологий и перспективных темпах их роста.

Перспективы дальнейших исследований

Отмеченные выше обстоятельства подтверждают необходимость реализации фундаментальной комплексной госбюджетной темы Минобрнауки Украины «Методология разработки эффективных конструктивно-технологических решений композитных отсеков авиакосмической техники и их соединительных узлов» № ГР 0117U002499 (2017 – 2019 гг.), направленной на разработку соответствующего теоретического и экспериментального обеспечения для оптимального проектирования композитных агрегатов рассматриваемого класса техники.

Литература

1. Дегтярев, А. В. *Ракетная техника. Проблемы и перспективы. Избранные научно-технические публикации [Текст] / А. В. Дегтярев.* – Днепропетровск : АРТ-ПРЕСС, 2014. – 420 с.
2. Грабин, Б. В. *Основы конструирования ракет-носителей космических аппаратов [Текст] / Б. В. Грабин, О. И. Давыдов, В. И. Жихарев; под общ. ред. В. П. Мишина, В. К. Карраска.* – М. : Машиностроение, 1991. – 416 с.
3. *Проектування і конструювання ракет-носіїв [Текст] / В. В. Близначенко, Є. О. Джур, Р. Д. Краснікова та ін.; за ред. С. М. Конюхова.* – Дніпропетровськ : Вид-во ДНУ, 2007. – 504 с.
4. Бычков, С. А. *Основные проблемы создания изделий авиационной и ракетно-космической техники из полимерных композиционных материалов : аналитический обзор [Текст] / С. А. Бычков, В. Е. Гайдачук // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов : сб. науч. тр. Гос. аэрокосм. ун-та им. Н. Е. Жуковского «ХАИ».* – Вып. 13. – 1998. – С. 6 – 17.
5. Коваленко, В. А. *Применение полимерных композиционных материалов в изделиях ракетно-космической техники как резерв повышения ее массовой и функциональной эффективности [Текст] / В. А. Коваленко, А. В. Кондратьев // Авиационно-космическая техника и технология.* – 2011. – №5(82). – С. 14 – 20.
6. Резник, С. В. *Актуальные проблемы проектирования, производства и испытания ракетно-космических композитных конструкций [Текст] / С. В. Резник // Актуальные проблемы развития ракетно-космической техники и систем вооружений – 2013 – № 606.* – С. 295 – 311.
7. *Композиты в конструкциях корпусов ракет-носителей. Системный анализ проблем и перспектив разработки и применения [Текст] : монограф. / А. К. Линник, Р. Д. Красникова, В. И. Липовский, Е. Ю. Баранов; под ред. А. В. Дегтярева.* – Д. : ЛИРА, 2018. – 260 с.
8. Филатов, А. Н. *Разработка методов и моделей параллельного нисходящего проектирования ракетно-космической техники в едином информационном пространстве предприятия [Текст] : дисс. ... канд. техн. наук : 05.07.02 / Филатов Александр Николаевич.* – Самара, 2014. – 163 с.
9. Назаренко, С. А. *Разработка технологии оптимизации нагруженных многокомпонентных конструкций и технологических систем [Электронный ресурс] / С. А. Назаренко.* – Электрон. текстовые данные. – Харьков, 2016. – 35 с. – Режим доступа : <http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/22751>.
10. *Simulation optimization: a review and exploration in the new era of cloud computing and big data [Text] / Jie Xu, E. Huang, Chun-Hung Chen, Loo Hay Lee // Asia-Pacific Journal of Operational Research.* – 2015. – V. 32. – №. 03. – P. 1550019-1 – 1550019-34. doi: 10.1142/S0217595915500190.
11. *MDO: Assessment and Direction for Advancement – An Opinion of One International Group [Text] / J. Agte, O. de Weck, J. Sobieszcanski-Sobieski, P. Arendsen, A. Morris, M. Spieck // Structural and Multidisciplinary Optimization.* – 2009. – № 40 (1). – P. 17 – 33. doi:10.1007/s00158-009-0381-5.
12. *Высокотехнологичный компьютерный инжиниринг: обзор рынков и технологий [Текст] / под ред. К. В. Дорофеева.* – СПб. : Изд-во Политехн. Ун-та, 2014. – 110 с.
13. Баничук, Н. В. *Оптимизация элементов конструкций из композиционных материалов [Текст] / Н. В. Баничук, В. В. Кобелев, Р. Б. Рикардс.* – М. : Машиностроение, 1988. – 224 с.
14. Белозеров, Л. Г. *Композитные оболочки при силовых и тепловых воздействиях [Текст] / Л. Г. Белозеров, В. А. Киреев.* – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 388 с.
15. Немировский, Ю. В. *Рациональное проектирование армированных конструкций [Текст] : монограф. / Ю. В. Немировский, А. П. Янковский; под ред. В. М. Фомина.* – Новосибирск : Наука, 2002. – 488 с.
16. *Материалы и покрытия в экстремальных условиях. Взгляд в будущее [Текст] : монограф. в 3 т. / В. В. Скороход, Н. А. Никифоров, С. В. Резник; по ред. С. В. Резника.* – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002. – Т.2. – 296 с.
17. *Формостабильные и интеллектуальные конструкции из композиционных материалов [Текст] : монограф. / Г. А. Молодцов, В. Е. Биткин, В. Ф. Симонов и др.* – М. : Машиностроение, 2000. – 352 с.
18. Бохоева, Л. А. *Особенности расчета на прочность элементов конструкций из изотропных и*

композиционных материалов с допустимыми дефектами [Текст] : монограф. / Л. А. Бохоева. – Улан-Удэ : изд-во ВСГТУ, 2007. – 192 с.

19. Бакулин, В. Н. Методы оптимального проектирования и расчёта композиционных конструкций [Текст] : монограф. в 2 т. / В. Н. Бакулин, Е. Л. Гусев, В. Г. Марков. – М. : Физматлит, 2008. – Т. 2. – 256 с.

20. Моделирование статике и динамики оболочечных конструкций из композиционных материалов [Текст] : монограф. / В. О. Каледин, С. М. Аульченко, А. Б. Миткевич, Е. В. Решетникова, Е. А. Седова, Ю. В. Шпакова. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2014. – 249 с.

21. Селюгин, С. В. Исследование задач оптимизации и разработка методов рационального проектирования агрегатов силовых конструкций с учетом физической нелинейности [Текст] : автореф. дисс. ... д-ра техн. наук : 05.07.03 / Селюгин Сергей Васильевич; Центр. Аэрогидродинамич. ин-т. – Жуковский, 1996. – 36 с.

22. Ушаков, А. Е. Роль национального композитного центра ФГУП «ЦАГИ» в решении прорывных задач, связанных с применением композиционных материалов в авиационной [Электронный ресурс] / А. Е. Ушаков // Режим доступа: http://www.dubna-oez.ru/images/data/gallery/132_919_ed.2.ppt.

23. Ушаков, А. Е. Общая постановка и схема решения задачи обеспечения безопасности авиационных конструкций из ПКМ с учетом их повреждаемости [Текст] / А. Е. Ушаков // Известия Самарского научного центра РАН. – 2012. – Т. 14. – №4(2). – С. 339 – 347.

24. Смердов, А. А. Разработка методов проектирования композитных материалов и конструкций ракетно-космической техники [Текст] : дисс. ... д-ра техн. наук : 05.07.02, 05.02.01 / Смердов Анорей Анатольевич. – Москва, 2007. – 410 с.

25. Резников, Б. С. Оценка прочности композитных материалов и элементов конструкций при комбинированном нагружении [Текст] : дисс. ... д-ра техн. наук : 01.02.04 / Резников Борис Самуилович. – Новосибирск, 2000. – 302 с.

26. Осяев, О. Г. Методы анализа и прогнозирования технического состояния несущих конструкций из композиционных материалов при многофакторном нагружении [Текст] : дисс. ... д-ра техн. наук : 05.13.01 / Осяев Олег Геннадьевич. – Ростов-на-Дону, 2010. – 344 с.

27. Алёхин, В. В. Оптимизация слоистых элементов конструкций [Текст] : дисс. ... д-ра физ.-мат. наук : 01.02.04 / Алёхин Владимир Витальевич. – Новосибирск, 2003. – 199 с.

28. Верещака, С. М. Нелінійне деформування і стійкість багатошарових елементів конструкцій з дефектами структури [Текст] : дисс. ... д-ра техн. наук : 01.02.04 / Верещака Сергій Михайлович. – Харків, 2000. – 299 с.

29. Сметанкіна, Н. В. Нестационарні коливання, термопружність і оптимізація багатошарових

пластин та циліндричних оболонок складної форми в плані [Текст] : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 01.02.04 / Сметанкіна Наталя Володимирівна; Нац. акад. наук України, Ін-т пробл. машинобудування ім. А. М. Підгорного. – Х., 2012. – 40 с.

30. Угрімов, С. В. Нестационарне деформування багатошарових анізотропних елементів конструкцій [Текст] : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 01.02.04 / Угрімов Сергій Вікторович; Нац. акад. наук України, Ін-т пробл. машинобудування ім. А. М. Підгорного. – Х., 2017. – 40 с.

31. Тридцять років наукової школи з проблеми створення виробів авіаційно-космічної техніки з полімерних композиційних матеріалів [Текст] / В. С. Гайдачук, О. В. Гайдачук, Я. С. Карпов // Авиационно-космическая техника и технология. – 2010. – №2(69). – С. 12 – 19.

32. Профессор Гайдачук Виталий Евгеньевич [Текст] : библиографический указатель к 70-летию со дня рождения / под ред. Н. М. Ткаченко. – Х. : ХАИ, 2008. – 60 с.

33. Сироткин, О. С. Соединения конструкций из композиционных материалов [Текст] / О. С. Сироткин, В. В. Воробей. – Л. : Машиностроение, 1985. – 168 с.

34. Профессор Яков Семенович Карпов: библиографический указатель к 60-летию со дня рождения [Текст] / под ред. Н. М. Ткаченко. – Х. : ХАИ, 2009. – 58 с.

35. Карпов, Я. С. Соединения деталей и агрегатов из композиционных материалов [Текст] : монограф. / Я. С. Карпов. – Х. : Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», 2006. – 359 с.

36. Куреннов, С. С. Новые модели напряженно-деформированного состояния нахлесточных клеевых соединений [Текст] : дисс. ... д-ра техн. наук : 01.02.04 / Куреннов Сергей Сергеевич. – Х., 2015. – 305 с.

37. Гайдачук, А. В. Научные основы безопасной технологии производства конструкций летательных аппаратов из полимерных композиционных материалов [Текст] : дисс. ... д-ра техн. наук : 05.07.04 / Гайдачук Александр Витальевич. – Х., 2002. – 386 с.

38. Сливинский, В. И. Научные основы технологии производства сотовых заполнителей и конструкций летательных аппаратов и конверсионного назначения [Текст] : дисс. ... д-ра техн. наук : 05.07.04 / Сливинский Владимир Иванович. – Х., 2001. – 385 с.

39. New possibilities of creating efficient honeycomb structures for rockets and spacecrafts [Электронный ресурс] / M. Slivinsky, V. Slivinsky, V. Gajdachuk и др. // 55th International Astronautical Congress 2004 – Vancouver, Canada. – IAC-04-1.3.a.10. – P. 1 – 7. – 1 електрон. опт. диск.

40. Weight optimization of honeycomb structures for space applications [Электронный ресурс] / V. Slyvyn's'kyu, V. Gajdachuk, A. Gajdachuk, N. Slyvyn's'ka // 56th International Astronautical Con-

gress 2005 – Japan, Fukuoka – IAC-05-C2.3.07. – P. 1 – 10. – 1 электрон. опт. диск.

41. *Technological possibilities for increasing quality of honeycomb cores used in aerospace engineering* [Электронный ресурс] / V. Slyvyns'kyu, M. Slyvyns'kyu, A. Gajdachuk и др. // 58th International Astronautical Congress 2007 – Hyderabad, India – IAC-07-C2.1.08. – 1 электрон. опт. диск.

42. *Scientific fundamentals of efficient adhesive joint in honeycomb structures for aerospace applications* [Электронный ресурс] / V. Slyvyns'kyu, M. Slyvyns'kyu, V. Gajdachuk и др. // 59th International Astronautical Congress 2008 – Glasgow, Scotland – IAC-08.C2.1.13. – P. 1 – 8. – 1 электрон. опт. диск.

43. *Creation of energy-saving technologies of forming articles made of polymeric composite materials* [Электронный ресурс] / V. Slyvyns'kyu, A. Gajdachuk, G. Tkachenko и др. // 60th International Astronautical Congress 2009 – Daejeon, South Korea – IAC-09.C2.4.9. – 1 электрон. опт. диск.

44. *Carbon honeycomb plastic as light-weight and durable structural material (Conference Paper)* [Текст] / V. I. Slyvynskyi, A. I. Alyatovskiy, A. V. Kondratiev, M. E. Kharchenko // 63th International Astronautical Congress, IAC 2012. Naples, Italy, 1 - 5 October 2012– Red Hook, NY : Curran, 2012. – Vol. 8. – P. 6519 – 6529.

45. *New possibilities in creating of effective composite size-stable honeycomb structures designed for space purposes (Conference Paper)* [Text] / V. I. Slyvynskyi, V. A. Kovalenko, A. V. Kondratiev, M. E. Kharchenko // 64th International Astronautical Congress, IAC 2013. Beijing, China, 23 – 27 September 2013. – Red Hook, NY : Curran, 2013. – Vol. 7. – P. 5643 – 5655.

46. *Thermally and dimensionally stable structures of carbon-carbon laminated composites for space applications* [Электронный ресурс] / V. I. Slyvynskyi, A. F. Sanin, M. E. Kharchenko, A. V. Kondratiev // 65th International Astronautical Congress, Toronto, Canada, 29 September - 3 October 2014. – 2014. – IAC-14.C2.4.11,x21459. – 1 электрон. опт. диск.

47. Коваленко, В. А. *Научные основы технологии производства агрегатов ракетно-космической техники регламентированного качества из полимерных композиционных материалов* [Текст] : дисс. ... д-ра техн. наук : 05.07.02/ Коваленко Виктор Александрович. – Х., 2014. – 414 с.

48. Кулага, Е. С. *Разработка головных обтекателей из композиционных материалов* [Текст] / Е. С. Кулага, И. Г. Оленин // Воздушный транспорт – 2006. – Вып. 1. – С. 418 – 436.

49. Фрейдин, А. С. *Свойства и расчёт адгезионных соединений* [Текст] / А. С. Фрейдин, Р. А. Турусов. – М. : Химия, 1990. – 256 с.

50. Москалев, С. И. *Применение сотовых конструкций для обеспечения теплового режима космических аппаратов* [Текст] / С. И. Москалев, Ю. К. Валов, В. В. Кавун // Эффективность сотовых конструкций в изделиях авиационно-

космической техники : сб. материалов V междунар. науч.-практ. конф., Днепропетровск 5-7 июня 2013 г. – Днепропетровск, 2013. – С. 151 – 154.

51. Боровков, А. И. *Компьютерный инжиниринг* [Текст] : серия докл. / А. И. Боровков, С. Ф. Бурдаков, О. И. Клявин – Фонд «Центр стратегических разработок «Северо-Запад», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет» : СПб., 2012. – Вып. 2. – 93 с.

52. Тишин, А. П. *Внедрение CALS-технологий на предприятиях ракетно-космической промышленности Росавиакосмоса* [Текст] / А. П. Тишин, Г. П. Шинкин // Технологии управления. – 2000. – №3. – С. 11 – 16.

53. Братухин, А. Г. *CALS (Continuous Acquisition and Life cycle Support – непрерывная информационная поддержка жизненного цикла продукции) в авиастроении* [Текст] / А. Г. Братухин, Ю. В. Давыдов, Ю. С. Елисеев. – М. : Изд-во МАИ, 2000 – 304 с.

54. Пересыпкин, К. В. *Проектирование силовых конструкций ракет-носителей с применением метода конечных элементов* [Текст] / К. В. Пересыпкин, В. П. Пересыпкин, Е. А. Иванова. – Самара : Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева. – 2012. – 100 с.

55. *Проектирование элементов конструкций ракетно-космической техники с использованием конечно-элементной поддержки* [Текст] / А. В. Кондратьев, В. В. Кириченко, А. А. Царицынский. – Х. : Нац. аэрокосм. ун-т им. Н.Е. Жуковского «Харьков авиац. ин-т», 2018. – 200 с.

56. Чумаченко, Е. Н. *Математическое моделирование в нелинейной механике (Обзор программных комплексов для решения задач моделирования сложных систем)* [Текст] / Е. Н. Чумаченко, Т. В. Полякова, С. А. Аксенов. – М. : Институт космических исследований РАН, 2009. – 43 с.

57. Кондратьев, А. В. *Состояние проблемы научного обеспечения эффективной технологии производства агрегатов ракетно-космической техники из полимерных композиционных материалов* [Текст] / А. В. Кондратьев, В. А. Коваленко // Авиационно-космическая техника и технология. – 2011. – № 6(83). – С. 17 – 25.

58. Mackerle, J. *Finite element analyses of sandwich structures: a bibliography (1980–2001)* [Text] / J. Mackerle // Engineering Computations – 2002. – No. 19:2 – P. 206 – 245. Doi: 10.2514/2.991.

59. Frischknecht, B. D. *Pareto Set Analysis: Local Measures of Objective Coupling in Multiobjective Design Optimization* [Text] / B. D. Frischknecht, D. L. Peters, P. Y. Papalambros // Structural and Multidisciplinary Optimization. – 2011. – Vol. 43. – No. 5. – P. 617 – 630. doi: 10.1007/s00158-010-0599-2.

60. Царицынский, А. А. *Обзор существующих программных продуктов многокритериальной оп-*

тимизации объектов аэрокосмической техники [Текст] / А. А. Царицынский // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов : сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н. Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 4 (84). – 2015. – С. 112 – 123.

61. *New concept for weight optimization of launcher nose firings made of honeycomb structures* [Электронный ресурс] / V. Slyuyns'kyu, M. Slyuyns'kyu, A. Gajdachuk и др. // 57th International Astronautical Congress 2006 – Valencia, Spain – IAC-06-C2.P.1.11. – P.1 – 5. – 1 электрон. опт. диск.

62. *Basic parameters' optimization concept for composite nose fairings of launchers (Conference Paper)* [Text] / V. Slyuyns'kyu, V. Gajdachuk, V. Kirichenko, A. Kondratiev // 62nd International Astronautical Congress, IAC 2011. Cape Town, 3 - 7 October 2011. – Red Hook, NY : Curran, 2012. – Vol. 9. – P. 5701– 5710.

63. *Оптимальное проектирование композитных сотовых конструкций авиакосмической техники* [Текст] : монограф. / В. Е. Гайдачук, А. В. Кондратьев, В. В. Кириченко, В. И. Сливинский. – Х. : Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского «Харьк. авиац. ин-т», 2011. – 172 с.

64. *Методология разработки эффективных конструктивно-технологических решений композитных агрегатов ракетно-космической техники* [Текст] : монограф. в 2 т. / А. В. Гайдачук, В. Е. Гайдачук, А. В. Кондратьев, В. А. Коваленко, В. В. Кириченко, А. М. Потапов; под. ред. А. В. Гайдачука. – Х. : Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского «Харьк. авиац. ин-т», 2016. – Т. 1. – 263 с. – Т. 2. – 250 с.

References

1. Degtjarev, A. V. *Raketnaja tehnika. Problemy i perspektivy. Izbrannye nauchno-tehnicheskie publikacii*. Dnepropetrovsk, ART-PRESS Publ., 2014. 420 p.

2. Grabin, B. V., Davydov, O. I., Zhiharev, V. I. *Osnovy konstruirovaniya raket-nositelej kosmicheskikh apparatov* (ed. Mishin V. P., Karrask V. K.). Moscow, Mashinostroenie Publ., 1991. 416 p.

3. Blyznychenko, V. V., Dzhur, Ye. O., Krasnikova, R. D. *Proektivannya i konstruyvannya raket-nosiyiv* (ed. red. Konyukhov S. M.). Dnipropetrovsk, DNU Publ., 2007. 504 p.

4. Bychkov, S. A., Gajdachuk, V. E. *Osnovnye problemy sozdaniya izdelij aviacionnoj i raketno-kosmicheskoy tehniki iz polimernyh kompozicionnyh materialov: analiticheskij obzor. Nauchnye trudy Natsional'nogo aerokosmicheskogo universiteta im. N. E. Zhukovskogo «KhAI» «Voprosy proektirovaniya i proizvodstva konstruksii letatel'nykh apparatov»*, 1998, vol. 13, pp. 6 – 17.

5. Kovalenko, V. A., Kondrat'ev, A. V. *Primenenie polimernyh kompozicionnyh materialov v izdelijah raketno-kosmicheskoy tehniki kak rezerv povysheniya ee massovoj i funkcional'noj jeffektivnosti. Aviatcionno-*

kosmicheskaya tekhnika i tekhnologiya, 2011, no. 5(82), pp. 14 – 20.

6. Reznik, S. V. *Aktual'nye problemy proektirovaniya, proizvodstva i ispytaniya raketno-kosmicheskikh kompozitnykh konstrukcij. Aktual'nye problemy razvitiya raketno-kosmicheskoy tehniki i sistem vooruzhenij*, 2013, no. 606, pp. 295 – 311.

7. Linnik, A. K., Krasnikova, R. D., Lipovskij, V. I., Baranov, E. Ju. *Kompozity v konstrukcijah korpusov raket-nositelej. Sistemnyj analiz problem i perspektiv razrabotki i primenenija* (ed. Degtjareva A.V). Dnipro, LIRA Publ., 2018. 260 p.

8. Filatov, A. N. *Razrabotka metodov i modelej parallel'nogo nishodjashhego proektirovaniya raketno-kosmicheskoy tehniki v edinom informacionnom prostranstve predpriyatija*. Diss. ... kand. tekhn. nauk: 05.07.02. Samara, 2014. 163 p.

9. Nazarenko, S. A. *Razrabotka tehnologii optimizacii nagruzhennyh mnogokomponentnykh konstrukcij i tehnologicheskikh system*. Har'kov, 2016. 35 p. Available at: <http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/22751>.

10. Jie, Xu., Huang, E., Chun-Hung, Chen., Loo, Hay Lee. *Simulation optimization: a review and exploration in the new era of cloud computing and big data. Asia-Pacific Journal of Operational Research*, 2015, vol. 32, no. 03, pp. 1550019-1 – 1550019-34. doi: 10.1142/S0217595915500190.

11. Agte, J., de Weck, O., Sobieszczanski-Sobieski, J., Arendsen, P., Morris, A., Spieck M. *MDO: Assessment and Direction for Advancement – An Opinion of One International Group. Structural and Multidisciplinary Optimization*, 2009, no 40 (1), pp. 17 – 33. doi:10.1007/s00158-009-0381-5.

12. *Vysokotekhnologichnyj komp'yuternyj inzhiniring: obzor rynkov i tehnologij* (ed. Dorofeev K. V.). St. Petersburg, Izdatelstvo Politehn. Un-ta Publ., 2014. 110 p.

13. Banichuk, N. V., Kobelev, V. V., Rikards, R. B. *Optimizacija jelementov konstrukcij iz kompozicionnyh materialov*. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1988. 224 p.

14. Belozеров, L. G., Kireev, V. A. *Kompozitnye obolochki pri silovyh i teplovyh vozdeystvijah*. Moscow, FIZMATLIT Publ., 2003. 388 p.

15. Nemirovskij, Ju. V., Jankovskij, A. P. *Racional'noe proektirovanie armirovannykh konstrukcij* (ed. Fomin V. M). Novosibirsk, Nauka Publ., 2002. 488 p.

16. Skorohod, V. V., Nikiforov, N. A., Reznik, S. V. *Materialy i pokrytija v jekstremal'nyh uslovijah. Vzglyad v budushhee* (ed. Reznik S. V). Moscow, MGTU im. N. Je. Bauman Publ., 2002, vol. 2. 296 p.

17. Molodcov, G. A., Bitkin, V. E., Simonov, V. F. *Formostabil'nye i intellektual'nye konstrukcii iz kompozicionnyh materialov*. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2000. 352 p.

18. Bohoeva, L. A. *Osobennosti rascheta na prochnost' jelementov konstrukcij iz izotropnyh i kompozicionnyh materialov s dopustimymi defektami*. Ulan-Udje, VSGTU Publ., 2007. 192 p.

19. Bakulin, V. N., Gusev, E. L., Markov, V. G. *Metody optimal'nogo proektirovaniya i raschjota kompozicionnykh konstrukcij*. Moscow, Fizmatlit Publ., 2008, vol. 2. 256 p.

20. Kaledin, V. O., Aul'chenko, S. M., Mitkevich, A. B., Reshetnikova, E. V., Sedova, E. A., Shpakova, Ju. V. *Modelirovanie statiki i dinamiki obolochechnykh konstrukcij iz kompozicionnykh materialov*. Moscow, FIZMATLIT Publ., 2014. 249 p.

21. Seljugin, S. V. *Issledovanie zadach optimizacii i razrabotka metodov racional'nogo proektirovaniya agregatov silovykh konstrukcij s uchetom fizicheskoy nelinejnosti*. Avtoref. diss. ... d-ra tekhn. nauk 05.07.03. Zhukovskij, Centr. Ajerogidrodinamich. in-t. Publ., 1996. 36 p.

22. Ushakov, A. E. *Rol' nacional'nogo kompozitnogo centra FGUP «CAGI» v reshenii proryvnykh zadach, svyazannykh s primeneniem kompozicionnykh materialov v aviastroenii*. Available at: http://www.dubna-oez.ru/images/data/gallery/132_919_ed.2.ppt.

23. Ushakov, A. E. *Obshhaja postanovka i shema reshenija zadachi obespechenija bezopasnosti aviakonstrukcij iz PKM s uchetom ih povrezhdaemosti*. *Izvestija Samarskogo nauchnogo centra RAN*, 2012, vol. 14, no. 4(2), pp. 339 – 347.

24. Smerdov, A. A. *Razrabotka metodov proektirovaniya kompozitnykh materialov i konstrukcij raketno-kosmicheskoy tehniki*. Diss. ... d-ra tekhn. nauk 05.07.02, 05.02.01. Moskva, 2007. 410 p.

25. Reznikov, B. S. *Ocenka prochnosti kompozitnykh materialov i jelementov konstrukcij pri kombinirovannom nagruzenii*, Diss. ... d-ra tekhn. nauk 01.02.04. Novosibirsk, 2000. 302 p.

26. Osjaev, O. G. *Metody analiza i prognozirovaniya tehniceskogo sostojaniya nesushhih konstrukcij iz kompozicionnykh materialov pri mnogofaktornom nagruzenii*. Diss. ... d-ra tekhn. nauk 05.13.01. Rostov-na-Donu, 2010. 344 p.

27. Aljohin, V. V. *Optimizacija sloistykh jelementov konstrukcij*. Diss. ... d-ra fiz.-mat. nauk 01.02.04. Novosibirsk, 2003. 199 p.

28. Vereshchaka, S. M. *Neliniyne deformuvannya i stiykist' bahatosharovykh elementiv konstruksiy z defektamy struktury*. Dyss. ... d-ra tekhn. nauk 01.02.04. Kharkiv, 2000. 299 p.

29. Smetankina, N. V. *Nestatsionarni kolyvannya, termopruzhnist' i optyimizatsiya bahatosharovykh plastytn ta tsylindrychnykh obolonok skladnoyi formy v plani*. Avtoref. dys. ... d-ra tekhn. nauk 01.02.04; Kharkiv, Nats. akad. nauk Ukrainy, In-t probl. mashynobuduvannya im. A. M. Pidhornoho Publ., 2012. 40 p.

30. Uhrimov, S. V. *Nestatsionarne deformuvannya bahatosharovykh anizotropnykh elementiv konstruksiy*. Avtoref. dys. ... d-ra tekhn. nauk 01.02.04. Kharkiv, Nats. akad. nauk Ukrainy, In-t probl. mashynobuduvannya im. A. M. Pidhornoho Publ., 2017. 40 p.

31. Haydachuk, V. Ye., Haydachuk, O. V., Karpov, Ya. S. *Trydtsyat' rokov naukovoyi shkoly z problemy stvorennya vyrobiv aviatsiyno-kosmichnoyi tekhniky z*

polimernykh kompozytsiynykh materialiv. *Aviatsionno-kosmicheskaya tekhnika i tekhnologiya*, 2010, no. 2(69), pp. 12 – 19.

32. *Professor Gajdachuk Vitalij Evgen'evich. Bibliograficheskij ukazatel' k 70-letiju so dnja rozhdenija* (ed. Tkachenko N. M). Kharkiv, Kharkiv Aviation Institute Publ., 2008. 60 p.

33. Sirotkin, O. S., Vorobej, V. V. *Soedinenija konstrukcij iz kompozicionnykh materialov*. Leningrad, Mashinostroenie Publ., 1985. 168 p.

34. *Professor Jakov Semenovich Karpov. Bibliograficheskij ukazatel' k 60-letiju so dnja rozhdenija* (ed. Tkachenko N. M). Kharkiv, Kharkiv Aviation Institute Publ., 2009. 58 p.

35. Karpov, Ja. S. *Soedinenija detalej i agregatov iz kompozicionnykh materialov*. Kharkiv, National Aerospace University Kharkiv Aviation Institute Publ., 2006. 359 p.

36. Kurennov, S. S. *Novye modeli naprjazhenno-deformirovannogo sostojaniya nahlestochnykh kleevykh soedinenij*. Diss. ... d-ra tekhn. nauk 01.02.04. Kharkiv, 2015. 305 p.

37. Gajdachuk, A. V. *Nauchnye osnovy bezopasnoj tehnologii proizvodstva konstrukcij letatel'nykh apparatov iz polimernykh kompozicionnykh materialov*. Diss. ... d-ra tekhn. nauk 05.07.04. Kharkiv, 2002. 386 p.

38. Slivinskij, V. I. *Nauchnye osnovy tehnologii proizvodstva sotovykh zapolnitelej i konstrukcij letatel'nykh apparatov i konversionnogo naznachenija*. Diss. ... d-ra tekhn. nauk 05.07.04. Kharkiv, 2001. 385 p.

39. Slivinsky, M., Slivinsky, V., Gajdachuk, V., Gajdachuk, A., Kirichenko, V. *New possibilities of creating efficient honeycomb structures for rockets and spacecrafts. 55th International Astronautical Congress*. 2004. Vancouver, Canada. IAC-04-1.3.a.10, pp. 1 – 7.

40. Slyvyns'kyy, V., Gajdachuk, V., Gajdachuk, A., Slyvyns'ka, N. *Weight optimization of honeycomb structures for space applications. 56th International Astronautical Congress*. 2005. Japan, Fukuoka. IAC-05-C2.3.07, pp. 1 – 10.

41. Slyvyns'kyy, V., Slyvyns'kyy, M., Gajdachuk, A., Gajdachuk, V., Slyvynska, N., Kirichenko, V. *Technological possibilities for increasing quality of honeycomb cores used in aerospace engineering. 58th International Astronautical Congress*. 2007. Hyderabad, India IAC-07-C2.I.08.

42. Slyvyns'kyy, V., Slyvyns'kyy, M., Polyakov, N., Gajdachuk, A., Gajdachuk, V., Kirichenko, V. *Scientific fundamentals of efficient adhesive joint in honeycomb structures for aerospace applications. 59th International Astronautical Congress*. 2008. Glasgow, Scotland. IAC-08.C2.1.13, pp. 1 – 8.

43. Slyvyns'kyy, V., Gajdachuk, A., Tkachenko, G., Kirichenko, V., Karpikova, O., Verbitskaya, N. *Creation of energy-saving technologies of forming articles made of polymeric composite materials. 60th International Astronautical Congress*. 2009. Daejeon, South Korea. IAC-09.C2.4.9.

44. Slyvynskiy, V. I., Alyamovskiy, A. I., Kondratiev, A. V., Kharchenko, M. E. *Carbon honeycomb*

plastic as light-weight and durable structural material. *63th International Astronautical Congress*. 2012. Naples, Italy, Red Hook, NY Curran, 2012, vol. 8, pp. 6519 – 6529.

45. Slyvynskiy, V. I., Kovalenko, V. A., Kondratiev, A. V., Kharchenko, M. E. New possibilities in creating of effective composite size-stable honeycomb structures designed for space purposes. *64th International Astronautical Congress*. 2013. Beijing, China. Red Hook, NY Curran, vol. 7, pp. 5643 – 5655.

46. Slyvynskiy, V. I., Sanin, A. F., Kharchenko, M. E., Kondratiev, A. V. Thermally and dimensionally stable structures of carbon-carbon laminated composites for space applications. *65th International Astronautical Congress*, Toronto. 2014. IAC-14,C2,4,11,x21459.

47. Kovalenko, V. A. *Nauchnye osnovy tehnologii proizvodstva agregatov raketno-kosmicheskoy tekhniki reglamentirovannogo kachestva iz polimernykh kompozitsionnykh materialov*. Diss. ... d-ra tekhn. nauk 05.07.02. Kharkiv, 2014. 414 p.

48. Kulaga, E. S., Olenin, I. G. Razrabotka golovnykh obtekatel'nykh iz kompozitsionnykh materialov. *Vozdushnyy transport*, 2006, vol. 1, pp 418 – 436.

49. Frejdin, A. C., Turusov, P. A. *Svoystva i raschjot adgezionnykh soedinenij*. Moskva, Himija Publ., 1990. 256 p.

50. Moskalev, S. I., Valov, Ju. K., Kavun, V. V. Primenenie sotovykh konstrukcij dlja obespechenija teplovogo rezhima kosmicheskikh apparatov. *Jefferktivnost' sotovykh konstrukcij v izdelijah aviacionno-kosmicheskoy tekhniki*. Dnepropetrovsk. 2013, pp. 151 – 154.

51. Borovkov, A. I., Burdakov, S. F., Kljavin, O. I. *Komp'juternyj inzhiniring*. St. Petersburg, Fond «Centr strategicheskikh razrabotok «Severo-Zapad», Federal'noe gosudarstvennoe bjudzhetnoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego professional'nogo obrazovanija «Sankt-Peterburgskij gosudarstvennyj politehnicheskij universitet» Publ., 2012, vol. 2. 93 p.

52. Tishin, A. P., Shinkin, G. P. Vnedrenie CALS-tehnologij na predpriyatijah raketno-kosmicheskoy promyshlennosti Rosaviakosmosa. *Tehnologii upravlenija*, 2000, no. 3, pp. 11 – 16.

53. Bratuhin, A. G., Davydov, Ju. V., Eliseev, Ju. S. CALS (Continuous Acquisition and Life cycle Support – nepreryvnaja informacionnaja podderzhka zhiznennogo cikla produkcii) v aviaostroenii. Moskva, MAI Publ., 2000, 304 p.

54. Peresypkin, K. V., Peresypkin, V. P., Ivanova E. A. *Proektirovanie silovykh konstrukcij raket-nositelej s primeneniem metoda konechnykh jelementov*. Samara, Samar. gos. ajerokosm. un-t im. S. P. Koroleva Publ., 2012. 100 p.

55. Kondratiev, A. V., Kirichenko, V. V., Caricynskij, A. A. *Proektirovanie jelementov konstrukcij raketno-kosmicheskoy tekhniki s ispol'zovaniem konechnykh jelementov podderzhki*. Kharkiv, National Aerospace University Kharkiv Aviation Institute Publ., 2018. 200 p.

56. Chumachenko, E. N., Poljakova, T. V., Aksenov S. A. *Matematicheskoe modelirovanie v nelinejnoj mehanike (Obzor programmykh kompleksov dlja reshenija zadach modelirovanija slozhnykh sistem)*. Moskva, Institut kosmicheskikh issledovanij RAN Publ., 2009. 43 p.

57. Kondratiev, A. V., Kovalenko, V. A. Sostojanie problemy nauchnogo obespechenija jefferktivnoj tehnologii proizvodstva agregatov raketno-kosmicheskoy tekhniki iz polimernykh kompozitsionnykh materialov. *Aviatsionno-kosmicheskaya tekhnika i tekhnologiya*, 2011, no. 6(83), pp. 17 – 25.

58. Mackerle, J. Finite element analyses of sandwich structures: a bibliography (1980–2001). *Engineering Computations*, 2002, no. 19:2, pp. 206 – 245. Doi: 10.2514/2.991.

59. Frischknecht, B. D., Peters, D. L., Papalambros, P. Y. Pareto Set Analysis: Local Measures of Objective Coupling in Multiobjective Design Optimization. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 2011, vol. 43, no. 5, pp. 617 – 630. doi: 10.1007/s00158-010-0599-2.

60. Caricynskij, A. A. Obzor sushhestvujushchih programmykh produktov mnogokriterial'noj optimizacii obektov ajerokosmicheskoy tekhniki. *Nauchnye trudy Natsional'nogo aerokosmicheskogo universiteta im. N. E. Zhukovskogo «KhAI» «Voprosy proektirovaniya i proizvodstva konstruksii letatel'nykh apparatov»*, 2015, vol. 4(84), pp. 112 – 123.

61. Slyvynskiy, V., Slyvynskiy, M., Gajdachuk, A., Gajdachuk, V., Slyvynska, N., Kirichenko, V. New concept for weight optimization of launcher nose firings made of honeycomb structures. *57th International Astronautical Congress*. 2006. Valencia, Spain, IAC-06-C2.P.1.11, pp.1 – 5.

62. Slyvynskiy, V., Gajdachuk, V., Kirichenko, V., Kondratiev, A. Basic parameters' optimization concept for composite nose fairings of launchers. *62nd International Astronautical Congress*, 2011, Cape Town, 3 - 7 October 2011, Red Hook, NY Curran, 2012, Vol. 9, pp. 5701– 5710.

63. Gajdachuk, V. E., Kondratiev, A. V., Kirichenko, V. V., Slivinskij, V. I. *Optimal'noe proektirovanie kompozitnykh sotovykh konstrukcij aviakosmicheskoy tekhniki*. Kharkiv, National Aerospace University Kharkiv Aviation Institute Publ., 2011. 172 p.

64. Gajdachuk, A. V., Gajdachuk, V. E., Kondratiev, A. V., Kovalenko, V. A., Kirichenko, V. V., Potapov, A. M. *Metodologija razrabotki jefferktivnykh konstruktivno-tehnologicheskikh reshenij kompozitnykh agregatov raketno-kosmicheskoy tekhniki*. Kharkiv, National Aerospace University Kharkiv Aviation Institute Publ., 2016, vol. 1. 263 p., vol. 2. 250 p.

ОБЗОР І АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДОЛОГІЙ ОПТИМАЛЬНОГО ПРОЕКТУВАННЯ КОМПОЗИТНИХ АГРЕГАТИВ РАКЕТНО-КОСМІЧНОЇ ТЕХНІКИ

А. В. Кондратьєв

Предметом вивчення в статті є існуючі методології оптимального проектування композитних конструкцій ракетно-космічної техніки. Метою є виявлення шляхів вирішення проблеми наукового забезпечення створення високоефективних агрегатів ракетно-космічної техніки з полімерних композиційних матеріалів. Завдання: провести критичний огляд і аналітичний аналіз існуючих методів оптимального проектування композитних конструкцій ракетно-космічної техніки і виявити основні тенденції формування вирішення даної проблеми. Використовуваними методами є: критичний огляд, аналітичний аналіз і методи системного аналізу. Отримані наступні результати. Обговорено проблема наукового забезпечення створення високоефективних агрегатів ракетно-космічної техніки з полімерних композиційних матеріалів, проаналізовано існуючі методології оптимального проектування агрегатів розглянутого класу техніки, розкрито визначальну роль інформаційних і комп'ютерних технологій на сучасному етапі стану проблеми, а також шляхи її вирішення на основі результатів кваліфікаційних робіт. Висновки. Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному: виявлено основні тенденції розвитку методологій оптимального проектування композитних агрегатів ракетно-космічної техніки та намічено шляхи їх розвитку. Робляться висновки, що відсутність завершених досліджень за рішенням обговорюваної комплексної проблеми пов'язано з двома основними причинами. Однією з них є необхідність для такого рішення досить великого обсягу результатів, до якого, виходячи зі зробленого аналізу, помітна явна тенденція наближення. Другою причиною є прогнозована масштабність комплексу оптимізації проектних параметрів в даній багатокритеріальній проблемі реалізації проектів створення композитних агрегатів ракетно-космічної техніки, яка стає можливою тільки при сучасному рівні розвитку інформаційних комп'ютерних технологій і перспективних темпах їх зростання.

Ключові слова: агрегати ракетно-космічної техніки; полімерні композиційні матеріали; оптимальне проектування; інформаційні та комп'ютерні технології; проблема наукового забезпечення

REVIEW AND ANALYSIS OF EXISTING METHODOLOGIES OF OPTIMAL DESIGNING THE COMPOSITE ROCKET AND SPACE EQUIPMENT UNITS

A. V. Kondratiev

The article deals with the existing methodology for the optimal design of composite structures of rocket and space equipment. The aim is to identify ways to solve the problem of scientific support for the creation of highly efficient rocket and space equipment units of polymer composite materials.

The tasks are the following: to conduct a critical review and analytical review of existing methods of optimal designing the composite structures of rocket and space technology and to identify the main trends in the solution of the considered problem. The applied methods are the following: critical review, analytical review and system analysis methods.

The following results were obtained. It was discussed the problem of scientific support for creating highly efficient rocket and space equipment units of polymer composites. It was analyzed the existing methodologies for optimal units' design of the considered class of equipment. It was revealed the main role of information and computer technologies at the current stage of the problem and the ways to solve it based on the results of qualification works.

Conclusions. The scientific novelty of the obtained results is as follows: the main trends in the development of methodologies for optimal designing the composite rocket and space equipment units are identified and the ways of their development are outlined. It is concluded that the lack of completed studies to solve the discussed complex problem is associated with two main reasons. One of them requires the large volume of results for such solution and the carried out analysis demonstrates a clear approaching tendency. The second reason is the predictable scale of optimization complex of design parameters in this multicriteria problem of implementing projects to create composite rocket and space equipment units. It becomes possible only with the modern level of information computer technologies development and their prospective growth rates.

Keywords: rocket and space equipment units; polymeric composite materials; optimal designing; informational and computer designing; scientific support problem

Кондратьєв Андрей Валерьевич – д-р техн. наук, доц., зав. каф. конструкций и проектирования ракетной техники, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина.

Kondratiev Andrii Valerevich – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Dept. of Rocket Design and Engineering, National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv, Ukraine, e-mail: a.kondratiev@khai.edu

ORCID Author ID: 0000-0002-8101-1961, Scopus Author ID: 55318596300, ResearcherID: M-5681-2017

<https://scholar.google.com.ua/citations?hl=ru&btnA=1&user=XrIyagUAAAAJ>

https://www.researchgate.net/profile/Andrii_Kondratiev