

На правах рукописи

Колпаков Андрей Михайлович



**Исследование трехслойных несущих поверхностей авиационных
конструкций с возможностью управления пограничным слоем**

Специальность: 05.07.02 – Проектирование, конструкция и производство
летательных аппаратов

Автореферат
диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Москва – 2020 г.

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»

Научный руководитель:	Долгов Олег Сергеевич - доктор технических наук, доцент, директор дирекции института №1 федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)».
Официальные оппоненты:	Шевцов Сергей Николаевич , доктор технических наук, профессор кафедры авиационного машиностроения, заведующий лабораторией транспорта, композиционных материалов и конструкций «ФИЦ Южный научный центр РАН» (г. Ростов-на-Дону) Кручинин Михаил Михайлович , Кандидат технических наук Холдинг «Вертолёты России» (г. Москва)
Ведущая организация:	ПАО «Таганрогский авиационный научно-технический комплекс им. Г.М. Бериева» (г. Таганрог)

Защита состоится 22 декабря 2020 года в 11:00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.125.10 в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» по адресу: г. Москва, А-80, ГСП-3, Волоколамское шоссе, д. 4, главный административный корпус, зал заседаний учёного совета. С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» и на сайте <https://mai.ru/events/defence/>.

Автореферат разослан « ____ » октября 2020 года.

Ученый секретарь

диссертационного совета

Д 212.125.10

кандидат технических

наук, доцент

Денискина Антонина Робертовна

Общая характеристика работы

Актуальность темы исследования

Проблема расширения авиационной мобильности требует расширения функций составных частей трёхслойных конструкций. Известным решением повышения мобильности летательных аппаратов является управление пограничным слоем, однако его применение в трёхслойных конструкциях требует детального исследования, поскольку требует обеспечения целого ряда специфических противоречивых требований, в первую очередь это касается структуры наполнителя. Предлагается решить двуединую задачу, которая позволит повысить эффективность летательных аппаратов за счёт обеспечения необходимых прочностных характеристик конструкции и обеспечения транзита воздуха внутри несущей поверхности к зоне обшивки, на которой осуществляется управление пограничным слоем. С помощью применения несущих поверхностей, имеющих трёхслойную конструкцию с возможностью управления пограничным слоем, можно решать широкий круг прикладных задач таких, как:

- снижение расстояния необходимого для разбега самолёта при взлёте и пробега при посадке;
- оперативная доставка грузов в районы ЧС не имеющих оборудованных ВПП с помощью самолётов;
- более точная посадка самолёта за счёт снижения воздушной скорости самолёта в момент касания ВПП;
- приводнение летающих лодок на поверхность небольших озёр;
- снижения импульса при касании ВПП и обеспечение возможности снижения массы посадочного устройства;
- увеличение точности касания торца ВПП за счёт увеличения времени на принятие решения членом экипажа, выполняющего функции командира воздушного судна.

Таким образом, облик ТНПСВУПС позволяет увеличить вероятность успешного выполнения полётного задания.

Одним из направлений, подтверждающих актуальность данных исследований, является задача обеспечения возможности, использования в качестве ВПП сверхкоротких грунтовых площадок расширяя тем самым

возможности применения самолётов, что особенно актуально в ситуации повсеместного сокращения аэродромов классов Д и Е.

Облик трёхслойной несущей поверхности с возможностью управления пограничным слоем оказывает существенное влияние на его прочностные, аэродинамические и технологические параметры.

Среди ведущих мировых аэрокосмических предприятий наблюдается устойчивая тенденция к переходу на использование методов мультидисциплинарных подходов к проектированию авиационных конструкций. Внедрение научных достижений по указанным направлениям в область разработки ТНПСВУПС создаёт предпосылки перехода от традиционных методов к парадигме проектирования на основе мультидисциплинарного подхода, что обеспечит повышение эффективности разрабатываемых авиационных систем, а так же сокращение временных затрат на процесс разработки.

Актуальность работы заключается в том, что разработанная методика позволяет решать широкий круг важных практических задач, востребованных при проведении спасательных, учебных и транспортных полётов, и позволяет повысить эффективность проектирования сборных дискретных заполнителей ТНПСВУПС, и достигнуть улучшения требуемых характеристик по нескольким критериям.

Актуальность диссертационного исследования обусловлена следующими факторами:

1. Проблема определения облика ТНПСВУПС затрагивает большую номенклатуру прикладных задач, связанных с учётом различных аспектов;
2. Методика определения облика ТНПСВУПС повышает эффективность авиационных систем и воздушных операций, включающих спасательные, учебные и транспортные полёты;
3. Перспективным направлением развития методов проектирования ТНПСВУПС считается переход от решения отдельных монодисциплинарных задач к созданию комплексных мультидисциплинарных систем определения облика;

4. Необходимость обеспечения требуемых критериев конструкции ТНПСВУПС, для решения проблемы негативного воздействия срывных явлений на несущих поверхностях ЛА;

Степень разработанности темы

Основы методик по расчёту и проектированию трёхслойных конструкций были заложены во второй половине 20-го века. Основные принципы расчёта трёхслойных авиационных конструкций, а так же отдельные аспекты разработки систем управления пограничным слоем систем были подробно рассмотрены отечественными учёными.

В работах Ендогура А.И. описана идеология проектирования трёхслойных авиационных конструкций из полимерных композиционных материалов, а так же широко освещена перспектива применения заполнителей сотового типа.

В работах Халиулина В.И. описана технология изготовления регулярных складчатых конструкций, перспективы применения заполнителей шевронного типа.

В работе Абдуллина И.Н. рассмотрены трёхслойные конструкции с перспективным заполнителем стержневого типа.

В работе Стрелкова В.В. описана перспективность использования энергетических систем увеличения подъёмной силы самолетов короткого взлета и посадки (систем управления пограничным слоем).

В работах сотрудников кафедры №104 МАИ Бойцова Б.В., Абибова А.Л., Кириллова А.П., Кондратенко Р.М., Сироткина О.С. и Зайцева И.М. описаны перспективы применения пространственно-армированных заполнителей трёхслойных конструкций («тетра» конструкций), изготавливаемых из однонаправленных жгутов стекло- и углепластика. Конструкции этого типа имеют большую жесткость, и впоследствии нашли применение в корпусах ракет и самолетов.

Согласно анализу открытых источников, задача синтеза облика ТНПСВУПС, для решения проблем негативного воздействия срывных явлений на несущих поверхностях ЛА, исследована недостаточно, отсутствуют методики, основанные на современных подходах мультидисциплинарного и мультикритериального проектирования. В

связи с этим существует необходимость в разработке методики определения облика ТНПСВУПС, учитывающей двуединую проблему с помощью современного методологического аппарата.

Цели и задачи исследования

Цель работы – разработка методики определения облика конструкции трехслойных несущих поверхностей, учитывающей специфику возможности управления пограничным слоем за счёт транзита воздуха через наполнитель и обладающей необходимой несущей способностью.

Поставленная цель достигается последовательным решением следующих **задач**:

1. Разработка геометрических моделей трёхслойных конструкций, позволяющих решить двуединую задачу обеспечения требуемой несущей способности с обеспечением проницаемости наполнителя для транзита воздушного потока через наполнитель трёхслойной конструкции учитывающих технологические ограничения.
2. Разработка прочностных моделей конструктивно-силовых схем ТНПСВУПС, соответствующих специфическим требованиям накладываемым условиями эксплуатации. Обоснование допущений и ограничений математических моделей. Проведение верификации и проверки адекватности применяемых математических моделей.
3. Решение прикладной задачи **увеличения устойчивости несущих слоёв** ТНПСВУПС. Анализ полученных результатов и выработка рекомендаций по выбору рациональных значений конструктивных параметров КСС ТНПСВУПС.
4. Проверка разработанной методики на адекватность. Проведение исследований по определению влияния технологических параметров на критерии облика ТНПСВУПС на базе разработанной методики (исходя из известных на сегодняшний день технологических возможностей).

Объектом исследования является трехслойная несущая поверхность с возможностью управления пограничным слоем.

Предметом исследования является процесс определения облика несущей поверхности имеющей трёхслойную конструкцию с возможностью управления пограничным слоем.

Научная новизна:

Научная новизна диссертации заключается в создании методики определения облика ТНПСВУПС, позволяющей найти оптимальный по нескольким критериям вектор конструктивных параметров учитывающий специфические требования, предъявляемые к системам управления пограничным слоем, и построенной на архитектуре мультидисциплинарного подхода:

- разработана комплексная методика определения облика КСС ТНПСВУПС, особенностью которой является учёт междисциплинарных связей;
- решена комплексная задача мультидисциплинарных исследований, позволяющая проводить автоматизированное определение облика ТНПСВУПС, которая отличается от существующих тем, что методика учитывает специфику требований, предъявляемых к системам управления пограничным слоем и многокритериальность оценки эффективности системы;
- в работе сформулирована концепция увеличения подъёмной силы трёхслойного закрылка посредством системы принудительного сдува пограничного слоя с поверхности его верхней обшивки, что позволяет снизить требования самолётов, предъявляемые к протяжённости и покрытию поверхности ВПП;
- решены прикладные задачи по определению критических зон и допустимых напряжений возникающих в авиационных трёхслойных конструкциях с дискретной структурой заполнителя, увеличению устойчивости обшивки ТНПСВУПС за счёт местных усилений толщины обшивки, разработан способ изготовления дискретных заполнителей различных типов, который отличается от существующих учётом специфики сложности геометрии дискретных заполнителей трёхслойных конструкций и ориентирован на возможность серийного производства.

Теоретическая и практическая значимость работы

Теоретическая значимость работы заключается в создании методики решения задачи определения оптимального облика ТНПсВУПС с учётом требований и ограничений предъявляемых к решению задачи мультикритериальной оптимизации на базе численных методов и обобщений известных решений в области проектирования систем управления пограничным слоем.

Практическая значимость диссертационной работы заключается в том, что разработанная методика определения облика ТНПсВУПС позволяет при наличии технико-экономических ограничений определить оптимальный по заданным критериям облик и принять решение при наличии нескольких критериев оптимальности.

Разработанные алгоритмы и программная реализация решения задачи определения облика ТНПсВУПС, позволяют при проектировании такой системы:

- повысить качество проектно-конструкторских работ по созданию ТНПсВУПС;
- сократить время этапа предварительного проектирования за счёт широкого использования современных средств компьютерного математического моделирования;
- сформулировать целевые рекомендации по определению облика ТНПсВУПС.

Методология и методы исследования

В работе используются расчётно-теоретические методы исследования. Декомпозиция задач, построение математических моделей базируются на принципах системного подхода. Математическая задача отыскания оптимальных значений геометрических параметров дискретного заполнителя поставлена как задача многокритериальной оптимизации. Задача оптимизации прочностных характеристик конструкции решалась методом конечных элементов, который обладает следующими преимуществами:

- универсальности, (т.е. возможности решать практически любые краевые задачи), поскольку с его помощью можно описать любую область, так как, треугольники и тетраэдры легко покрывают объекты,

имеющие крайне сложную геометрическую форму, например, такие как дискретный наполнитель.

- в нужных подобластях можно увеличить плотность вычислительной сетки, чтобы повысить точность вычислений в особенно критических зонах.

Положения, выносимые на защиту

На защиту выносятся следующие **научные положения**:

- методика определения облика ТНПСВУПС при наличии краевых ограничений в мультидисциплинарной мультикритериальной постановке задачи;
- алгоритмы и модели автоматизированного определения облика системы по заданным требованиям и ограничениям;
- результаты параметрических исследований.

Степень достоверности и апробация результатов

Достоверность обосновывается адекватным применением сертифицированных пакетов прикладного программного обеспечения (пакета ANSYS и многоцелевого конечно-элементного комплекса для инженерного анализа ABAQUS), верификацией и валидацией математических моделей, заключавшейся в сравнении данных полученных на выходе моделей с экспериментальными данными.

Апробация результатов работы

Основные положения работы были доложены и обсуждены на следующих научно-технических конференциях и выставках техники:

- RoboticsExpo 2017;
- 12-й форум российского вертолетного общества;
- 16-я Международная конференция «Авиация и космонавтика – 2017»;
- Молодежь и будущее авиации и космонавтики-2017;
- международный форум по коммерческой космонавтике и БПЛА InSpaceForum – 2018;
- Московский международный салон образования 2018;
- HeliRussia-2018;
- HeliRussia-2019;
- Гидроавиасалон Геленджик-2018;

- XXIV международная научная конференция “Системный анализ, управление и навигация”;
- МАКС2019;
- Молодежь и будущее авиации и космонавтики-2019;
- IX Национальная научно-техническая конференция;

Публикации автора по теме диссертации

Основные теоретические положения и результаты исследования опубликованы автором в 3 научных статьях в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК при Министерстве науки и высшего образования РФ, а также содержатся в тезисах докладов (4 работ) на научно-технических конференциях всероссийского и международного значения.

Структура и объем работы

Диссертационная работа состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка литературы (103 наименования работ отечественных и зарубежных авторов) и 2-х приложений. Общий объем диссертации – 167 страниц, включая 118 рисунков.

Основное содержание работы

Во введении обоснована актуальность и приведён краткий обзор состояния проблемы проектирования и определения облика ТНПсВУПС, сформулирована цель и задачи исследования, научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, дана общая характеристика диссертации.

В первой главе выделена двудеяная проблема создания облика трёхслойной панели с возможностью управления пограничным слоем исходя из прочностных требований обеспечения несущей способности и необходимости внутренней проницаемости для обеспечения транзита потока воздуха через конструкцию.

Проведён анализ ограничений, накладываемых условиями эксплуатации и специфических требований, предъявляемых к структуре заполнителей трёхслойных конструкций, обеспечение которых необходимо для возможности осуществления управления пограничным слоем несущих поверхностей современных систем управления пограничным слоем (Рисунок 1).

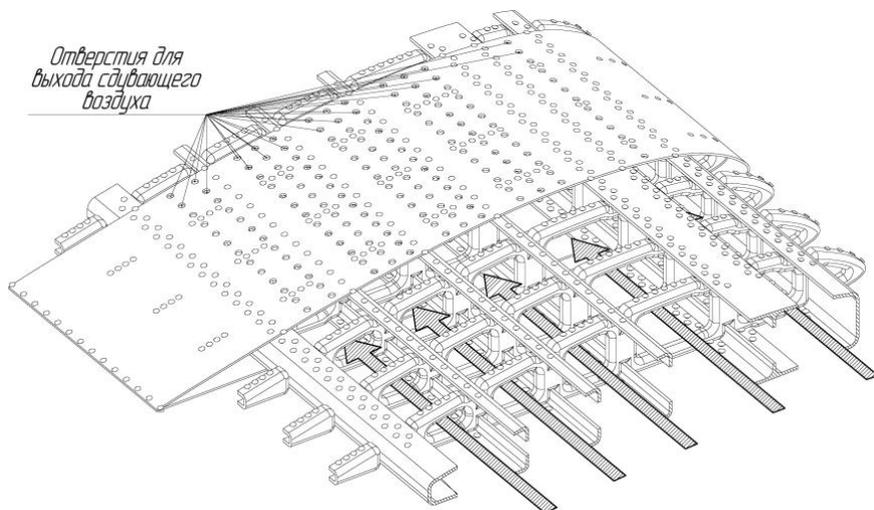


Рисунок 1 - Принцип работы современных систем управления пограничным слоем

Проведён анализ структур различных заполнителей трёхслойных конструкций на соответствие требованиям, предъявляемым к облику ТНПСВУПС (Рисунок 2).



Рисунок 2 - Соответствие различных структур заполнителей трёхслойных конструкций требованиям, предъявляемым к облику ТНПсВУПС

Проведён анализ различных конструкций элементарных ячеек дискретного заполнителя на соответствие требованиям, предъявляемым к облику ТНПсВУПС. Произведена параметризация облика элементарных ячеек дискретного заполнителя (Рисунок 3).

Выделены задачи, решаемые с помощью ТНПсВУПС.

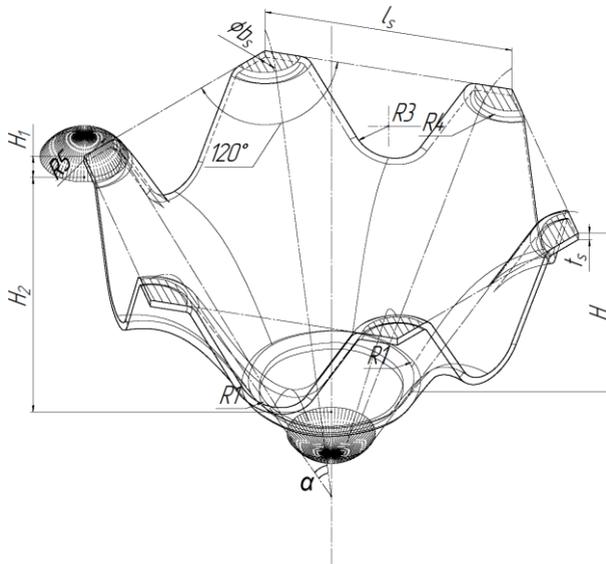


Рисунок 3 - Параметризованный облик элементарной сопряжённой гексагональной ячейки дискретного заполнителя

Варьируемые параметры:

$R1$ – Радиус скругления 01;

$R2$ – Радиус скругления 02;

$R3$ – Радиус скругления 03;

$R4$ – Радиус скругления 04;

$R5$ – Радиус скругления 05;

H – Высота заполнителя;

l_s – Длина ребра дискретного элемента;

l_2 – Ширина контактной площадки элемента;

t_s – Толщина материала заполнителя;

α – Угол конусности элемента;

ϕb_s – Диаметр контактной площадки с несущим слоем.

Вторая глава посвящена разработке математической модели ТНПсВУПС с точки зрения обеспечения критерия проницаемости внутренних элементов (заполнителя) и влиянию картины обтекания несущей поверхности на их геометрические параметры для обеспечения возможности управления пограничным слоем.

Разработана конструкция инструментария для проведения верификации данных полученных в ходе численного эксперимента путём исследований в аэродинамической трубе (Рисунок 4).

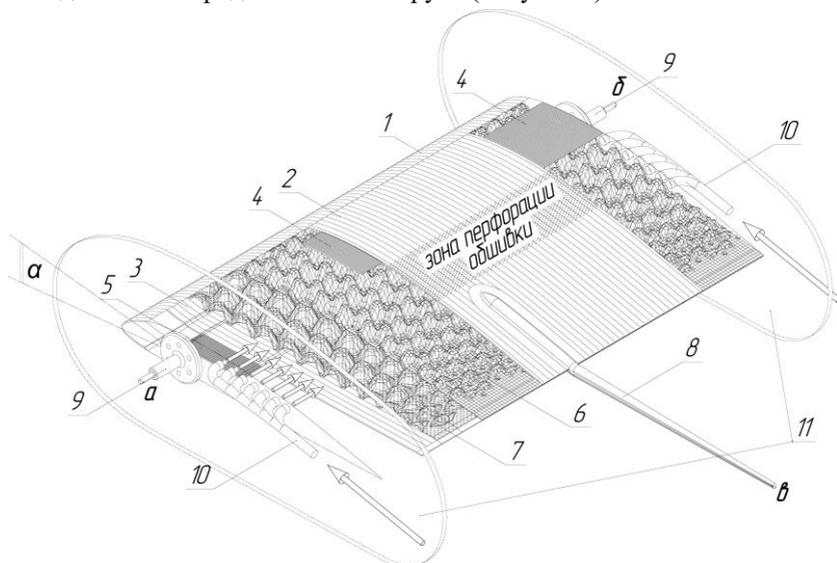


Рисунок 4 - Инструментарий для проведения верификации данных полученных в ходе численного эксперимента путём исследований в аэродинамической трубе

1 - Носок; 2 - Верхняя обшивка; 3 - Нижняя обшивка; 4 - Усиление верхней обшивки; 5 - Усиление нижней обшивки; 6 - Верхний слой двухслойного дискретного заполнителя; 7 - Нижний слой двухслойного дискретного заполнителя; 8 - Крепление 01; 9 - Крепление 02; 10 - Трубки для подвода (отвода) газа внутренней полости; 11 - Ограждение препятствующее перетеканию потока через боковые кромки аэродинамической модели.

Третья глава посвящена разработке методики определения облика под параметры обеспечения прочностных характеристик, проведению компьютерного моделирования прочностного испытания ТНПсВУПС, решению практической задачи повышения устойчивости несущих слоёв (Рисунок 5), решению проблемы рационального распределения массы материала внутри конструкции заполнителя (Рисунок 6), решению практической задачи предотвращения внутреннего расслоения сборного заполнителя (Рисунок 7).

Местные усиления обшивки

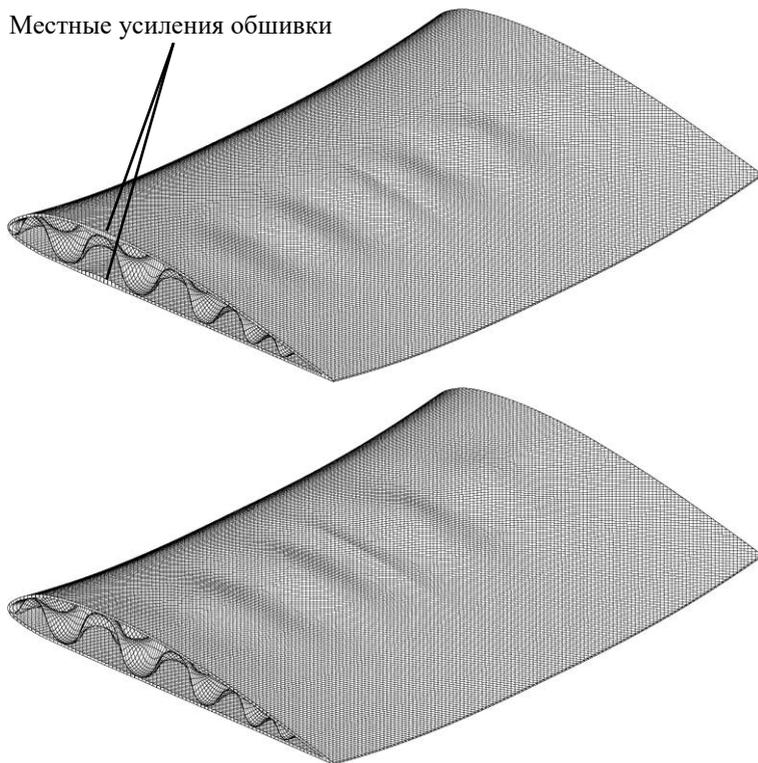


Рисунок 5 - Картина деформированного состояния сжатой панели после потери устойчивости с местным усилением обшивки и без

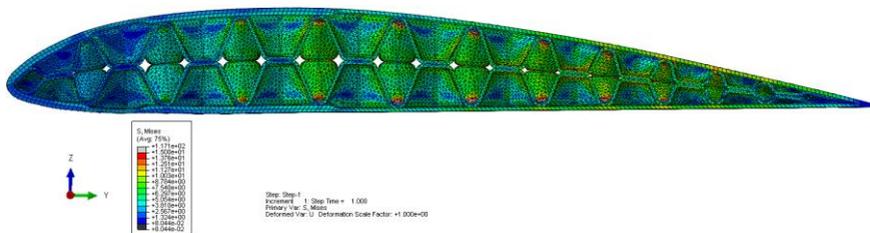


Рисунок 6 - Компьютерное моделирование прочностного испытания несущей поверхности с целью решения практической задачи избежания расслоения сборного заполнителя имеющего дискретную структуру

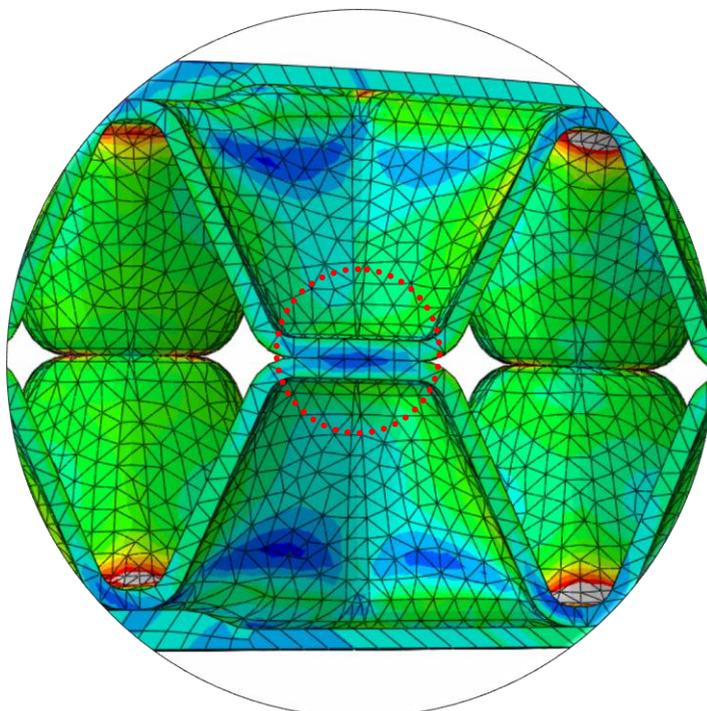


Рисунок 7 - Зона контакта дискретных ячеек сборного заполнителя

Выявлено:

- с помощью местных усилений трёхслойной конструкции с дискретной структурой заполнителя можно значительно повысить устойчивость обшивки за счёт эффекта схожего с принципом двутавровой балки без значительного увеличения массы конструкции.
- применение сборного заполнителя, состоящего из нескольких слоёв, состоящих из ячеек, имеющих дискретную структуру обеспечивает возможность неравномерного распределения объёма материала, из которого изготавливается конструкция заполнителя, от нейтральной оси трёхслойной панели, работающей на изгиб, где нормальные напряжения равны нулю в направлении несущих слоёв для восприятия с одной стороны растягивающих нормальных напряжений, а с другой сжимающих. Таким образом, более рациональное распределение объёма материала внутри, работающей на сопротивление изгибающей нагрузке конструкции позволяет более эффективно задействовать слои заполнителя многослойной панели и обеспечивает возможность снижения массы несущих слоёв.
- расположение контактных площадок ячеек имеющих дискретную структуру в конструкции многослойного сборного заполнителя на нейтральной оси обеспечивает надежное соединение слоёв заполнителя.

Четвертая глава посвящена влиянию на облик ТНПсВУПС прикладных технологических аспектов изготовления дискретного заполнителя и состояла из двух подзадач:

Первая заключалась в корректировке облика с точки зрения выбранного оптимального технологического метода изготовления заполнителя трёхслойной конструкции, имеющего дискретную структуру, ввиду сложности его геометрической формы.

Целевыми функциями были заданы – обеспечение возможности серийного производства, возможность изготовления из алюминиевых сплавов широко зарекомендовавших себя в мировой аэрокосмической промышленности.

В результате решения задачи был определён оптимальный метод изготовления дискретного заполнителя, обеспечивающий технологические требования с помощью листовой штамповки эластичным пуансоном (Рисунок 8), при этом так же отмечена возможность изготовления методами термовакuumного формования, выкладки из ПКМ, а также аддитивного производства.

Вторая заключалась в выборе оптимального способа соединения слоёв заполнителя между собой, а также с несущими слоями трёхслойной конструкции, обеспечивающего надежное функционирование конструкции ТНПсВУПС.

Третья задача заключалась в оптимизации и согласовании облика ТНПсВУПС с технологическими особенностями изготовления заполнителя трёхслойной конструкции имеющего дискретную структуру.

В результате был определён рекомендуемый облик конструкция трёхслойного закрывка с возможностью управления пограничным слоем (Рисунок 9).

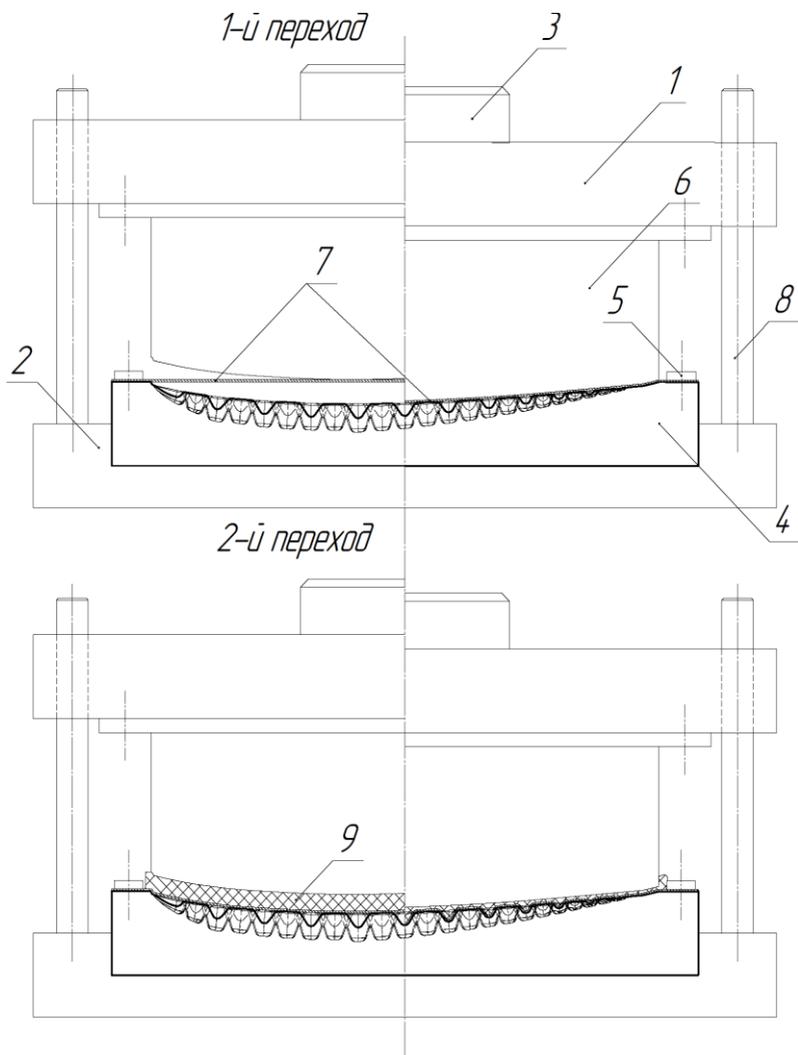


Рисунок 8 - Графическое изображение технологического процесса листовой штамповки дискретного заполнителя трёхслойной конструкции с применением эластичного пуансона

1 - Верхняя плита; 2 - Нижняя плита; 3 - Хвостовик; 4 - Матрица; 5 - Прижим; 6 - Пуансон; 7 - Заготовка; 8 - Направляющие колонки; 9 - Эластичная прокладка (эластичный пуансон).

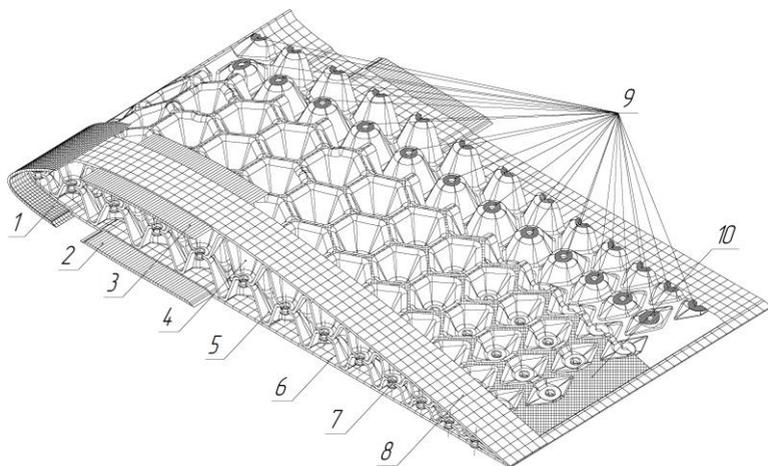


Рисунок 9 - Рекомендуемый облик конструкция трёхслойного закрылка с возможностью управления пограничным слоем

1 - Носок; 2 - Усиление нижней обшивки; 3 - Усиление верхней обшивки; 4 - Верхний слой двухслойного дискретного заполнителя; 5 - Нижний слой двухслойного дискретного заполнителя; 6 - Нижняя обшивка; 7 - Крепёжный элемент (люверс); 8 - Верхняя обшивка; 9 - Контактные площадки многослойного дискретного заполнителя; 10 - Контактная площадка заполнителя с обшивкой.

Заключение

В ходе работы были получены следующие новые результаты:

Разработана методика определения облика трёхслойной несущей поверхности имеющей возможность управления пограничным слоем, позволяющая расширить эксплуатационные характеристики самолётов за счёт снижения требований предъявляемых к ВПП, а так же позволяющая решать широкий круг прикладных задач.

1. Решена оригинальная конструктивно-технологическая задача доказавшая возможность создания конструкции обеспечивающей одновременно несущую способность и внутреннюю проницаемость для обеспечения возможности управления пограничным слоем, доказывающая эффективность разработанной методики определения облика ТНПСВУПС.
2. Формализованы требования к облику ТНПСВУПС и ограничения, накладываемые условиями эксплуатации.
3. Разработана методика определения облика ТНПСВУПС при наличии ограничений в мультидисциплинарной мультикритериальной постановке задачи с граничными условиями несущей способности и проницаемости заполнителя;
4. Решена задача определения облика ТНПСВУПС. Сформулирована, проанализирована и решена актуальная прикладная задача в части увеличения устойчивости несущих слоёв (обшивки) трёхслойной несущей поверхности с дискретной структурой заполнителя за счёт местных усилений обшивки. С помощью конечно-элементного анализа установлено, что предложенный способ позволяет увеличить устойчивость несущих слоёв трёхслойной конструкции в зависимости от ширины и толщины местных усилений обшивки.
5. Показана эффективность и работоспособность разработанной методики на примере решения ряда прикладных задач по определению облика ТНПСВУПС.

Методика позволяет повысить качество и эффективность разработки ТНПСВУПС, аспекты технологического проектирования, рассмотренные в диссертации, позволят авиаконструктору спроектировать ТНПСВУПС, без значительного увеличения веса и

внутренних напряжений, применение которого даст самолётам возможность производить взлёт и посадку с использованием сверхкоротких ВПП. При дальнейшем развитии работы ТНПСВУПС позволят увеличить безопасность выполнения авиационных работ с применением самолётов.

В результате решения задачи создания облика ТНПСВУПС в ходе исследований была подана заявка на регистрацию патента на изобретение «Дискретный наполнитель многослойной панели», заявка номер 2020129315 от 04.09.2020.

Результаты исследований используются в учебных и научно-исследовательских студенческих работах института №1 МАИ.

Список работ, опубликованных по теме диссертации

Статьи в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК при Министерстве науки и высшего образования РФ, по специальности 05.07.02:

1. Долгов О.С., Зотов А.А., Колпаков А.М., Волков А.Н. “Основные аспекты технологического проектирования закрылка с управлением пограничным слоем”, Журнал: Вестник Московского авиационного института 2020 Выпуск. Т.27. № 1 С. 88-99.
2. Зотов А.А., Колпаков А.М., Волков А.Н. “Алгоритм построения 3D-модели трехслойной оболочки вращения с конусообразными ячейками наполнителя и изменяемой формой образующей” Журнал: Труды МАИ, 2018, Выпуск № 103.
3. Долгов О.С., Зотов А.А., Колпаков А.М., Волков А.Н. “Особенности местной потери устойчивости элементов трехслойных систем с дискретной структурой наполнителя”, Общероссийский научно-технический журнал «ПОЛЕТ». 2020. №3. С. 25-30.

Статьи в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК при Министерстве науки и высшего образования РФ, по другим специальностям:

1. Шишкин С.В., Бойков А.А., Колпаков А.М. “К расчёту на прочность Z-образного металлического уплотнения с врезающимися элементами, деформируемого упруго-пластически” Журнал: Труды МАИ, Выпуск №109, 2019

Статьи в других изданиях:

1. Колпаков А.М., Долгов О.С. “Сверхмалые летательные аппараты геодезической схемы в узкоспециализированных областях применения”. 16-я Международная конференция «Авиация и космонавтика – 2017»; Москва, 20-24 ноября 2017 г. Тезисы. Издательство: Типография «Люксор» 2017. С. 31-33.
2. Колпаков А.М., Долгов О.С. “Сверхмалые летательные аппараты геодезической схемы в узкоспециализированных областях применения” 9-й Всероссийский межотраслевой молодёжный конкурс научно-технических работ и проектов “Молодежь и будущее авиации и космонавтики-2017” Москва 20-24 ноября 2017 года. Сборник аннотаций конкурсных работ. Типография «Люксор» 2017 С. 32-33.
3. Ахрамович С.А., Сычёв А.В., Колпаков А.М., Пономарёв Е.А. “Использование среды динамического моделирования технических систем SimInTech в задачах полунатурного моделирования”. XXIV международная научная конференция “Системный анализ, управление и навигация” 30 июня – 7 июля 2019 года. Евпатория. Тезисы. Издательство МАИ-Принт , 2019. С. 71-73.
4. Колпаков А.М. “Проектирование трёхслойной полусферической конструкции с дискретной структурой заполнителя” 11й Всероссийский межотраслевой молодёжный конкурс научно-технических работ и проектов “Молодежь и будущее авиации и космонавтики-2019” Москва 18-22 ноября 2019 года. Сборник аннотаций конкурсных работ. Издательство МАИ, 2019. С. 220-221.