

На правах рукописи



Корнилович Анастасия Викторовна

**РАЗРАБОТКА ПРОЦЕССА ПРОЕКТИРОВАНИЯ
КОСТЮМОВ ДЛЯ ПАРАШЮТНЫХ ВИДОВ СПОРТА**

Специальность 05.19.04 – Технология швейных изделий

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Иваново – 2017

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Ивановский государственный политехнический университет» (ФГБОУ ВО «ИВГПУ») на кафедре конструирования швейных изделий Текстильного института.

Научный руководитель:

Кузьмичев Виктор Евгеньевич,
доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой конструирования швейных изделий ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет», г. Иваново

Официальные оппоненты:

Черунова Ирина Викторовна,
доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Конструирование, технологии и дизайн» Института сферы обслуживания и предпринимательства (филиала) ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», г. Шахты Ростовской области

Чагина Любовь Леонидовна,
доктор технических наук, доцент, доцент кафедры дизайна, технологии, материаловедения и экспертизы потребительских товаров ФГБОУ ВО «Костромской государственный университет», г. Кострома

Ведущая организация:

ФГБОУ ВО «Владивостокский государственный университет экономики и сервиса», г. Владивосток

Защита состоится «13» апреля 2017 года в 10.00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.355.02 на базе ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет» по адресу: 153000, г. Иваново, пр. Шереметевский, 21, ауд. У-109.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет»: www.ivgpu.com.

Автореферат разослан « ____ » _____ 2017 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 212.355.02,
доктор технических наук, профессор



Е. Н. Никифорова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Экстремальные виды спорта, к которым относят парашютные, привлекают большое число людей. Безопасность и качество полета спортсмена зависят от комплекса показателей свойств специальных костюмов, таких, как надежность, эргономичность и аэродинамичность. Эти костюмы проектируют с учетом влияния, с одной стороны, внешних экстремальных факторов воздушной среды, а с другой – комплекса факторов, относящихся к физическому и психологическому состоянию спортсмена.

Российские спортсмены-парашютисты приобретают специальные костюмы зарубежных производителей, функциональные характеристики которых не всегда удовлетворяют запросам потребителей, а рыночная цена монопольно завышена. Поэтому разработка и производство новых конкурентоспособных видов одежды для парашютного спорта является важным направлением для отечественной швейной отрасли.

Степень научной разработанности избранной темы. Существенный вклад в теоретическое обоснование методов проектирования специальной одежды разного назначения внесли российские ученые П.П. Кокеткин (ОАО «ЦНИИШП»), В.Е. Романов, Е.Я. Сурженко (СПбГУПТД), Л.А. Бекмурзаев, И.Ю. Бринк, И.В. Черунова (ДГТУ) и др. В их научных трудах разработаны методологические основы проектирования специальной одежды, методы и средства ее оценки. Проблемы обеспечения аэродинамических свойств одежды для парашютного спорта рассмотрены в работах зарубежных исследователей P. de Gayardon (Франция), R. Resnik (Хорватия), K. Nyberg (Швеция), R. D'Andrea (Швейцария), S. Brasfield (США). Костюм *вингсьют* [от англ. wing – крыло, suit – костюм] – наиболее сложный и наименее изученный вид специальной спортивной одежды. Конструктивной особенностью костюма является наличие трех двухслойных крыльев, снабженных воздухозаборниками в виде специальных отверстий для наполнения полостей крыльев костюма воздухом с образованием давления для создания подъемной силы и обеспечения фазы свободного парения спортсмена.

Костюмы *вингсьют* не являлись объектами исследования, для них не созданы научные основы проектирования и не сформированы принципы обеспечения показателей функциональных свойств. Нет научно обоснованных конструкций таких костюмов, и крыльев в частности, которые в совокупности обеспечивают качество полета спортсмена. Влияние конструктивного устройства костюма на показатели его аэродинамических свойств до сих пор не формализовано. Для прогнозирования функциональных возможностей *вингсьюта* при эксплуатации требуется создание математических моделей.

В связи с этим разработка процесса проектирования костюмов для парашютных видов спорта является актуальной научной проблемой.

Работа выполнена в 2007–2016 гг. в рамках научного направления кафедры «Конструирование швейных изделий» по разработке и совершенствованию методов проектирования одежды различного назначения на основе использования автоматизированных технологий, современных методов математического моделирования и оригинальных подходов к оценке конструктивного решения. Часть исследований проведена в Университете Верхнего Эльзаса (Мюлуз, Франция).

Диссертационная работа соответствует п. 4 «Разработка рациональной конструкции и прогрессивной технологии изготовления швейных изделий различного назначения (бытовой, специальной, спортивной и др.), а также одежды нового ассортимента, обеспечивающих снижение затрат на производство и повышение качества продукции» и п. 5 «Совершенствование методов оценки качества и проектирование одежды с заданными потребительскими и технико-экономическими показателями» паспорта научной специальности 05.19.04 – *Технология швейных изделий* (технические науки).

Цель диссертационной работы состояла в разработке операций процесса проектирования конструкций одежды для парашютных видов спорта с улучшенными эксплуатационными показателями.

Для достижения поставленной цели решены следующие **научные задачи**:

- разработано информационно-методическое обеспечение процесса проектирования костюмов для парашютных видов спорта;
- разработана теоретическая модель натяжения текстильной швейной оболочки важнейшего узла костюма – крыла;
- разработаны математические модели для расчета геометрических параметров крыльев костюма, зафиксированных между рукавами и станом и половинами брюк;
- разработана методика конфекционирования материалов для костюма с учетом его деформируемого состояния под действием воздушной среды;
- разработана методика проверки антроподинамического соответствия чертежей конструкций стана куртки с помощью кинематической антропометрической схемы.

Для практической реализации решены следующие **технологические и технические задачи**:

- разработана программа для численного решения дифференциальных уравнений, описывающих линию контура крыла, расчета натяжения тканевой оболочки под действием воздушного потока и геометрических параметров крыла в пакете *MathCad*;
- разработана методика построения чертежей конструкций костюмов для парашютных видов спорта (*КПВС*) с возможностью реализации в САПР «Грация».

Объекты исследования – процесс проектирования *КПВС*, костюмы с тремя двухслойными объемными крыльями (*вингсьют*), крылья костюмов в статическом и динамическом состояниях, фигуры спортсменов, пакеты текстильных материалов.

Предмет исследования – динамическая система «спортсмен – костюм для парашютных видов спорта – воздушная среда».

Методология и методы диссертационного исследования. Для решения поставленных задач применены методы математического моделирования и экспериментальных исследований. В теоретических исследованиях использованы методы системного анализа, механики ткани и аэродинамики, структурного анализа, дифференциального и интегрального исчисления, теории обыкновенных дифференциальных уравнений, векторного анализа, аналитической геометрии, прикладной математики. Антропометрические исследования мужских фигур выполнены с применением контактных и бесконтактных методов измерений. Исследования тканей выполнены на приборе KES - F1 для измерения растяжения и сдвига текстильных материалов автоматического комплекса Kawabata (Япония). Аэродинамические испытания крыльев костюма проведены на специальной установке.

В работе использованы программные системы *CAD SolidWorks*, *CAE SolidWorks FloWorks*, САПР «Грация»; универсальные графические редакторы *Adobe Photo Shop SC 5* и *Corel DRAW X6*; прикладные программы *MathCad*, *MS Office Excel* и *SPSS 12,0*.

Научная новизна заключается в разработке методики поузлового проектирования контуров костюма для парашютных видов спорта, приобретающих объемно-пространственную форму под действием деформирующих факторов и улучшающих качество свободного полета спортсмена.

Теоретическая и практическая значимость работы. Теоретическая значимость заключается в разработке принципов проектирования *КПВС*.

Практическая значимость состоит в разработке технологии проектирования и конструктивного устройства костюма *вингсьют* с тремя двухслойными крыльями. Методика проектирования *КПВС* включена в состав информационного и методического обеспечения ООО «Исток – Пром» (г. Иваново). Разработан опытный образец *КПВС* с улучшенными эксплуатационными показателями, испытания которого прошли с положительным результатом в аэроклубе НП «Звезда» (г. Шилово Рязанской области).

Техническая новизна результатов защищена двумя патентами РФ на изобретение № 2395221 «Универсальный шаблон для диагностики и построения проймы и оката втачного рукава» от 27.07.2010 и полезную модель № 110609 «Костюм для парашютных видов спорта» от 27.11.11.

Авторские права на разработанное программное обеспечение защищены двумя свидетельствами на программы для ЭВМ № 2010615754 «Программа построения чертежа конструкции комбинезона для парашютного спорта "вингсьют"» и № 2011617381 «Программа построения чертежа модельной конструкции куртки и брюк костюма для парашютных видов спорта».

Результаты работы используются в научных и экспериментальных исследованиях в области проектирования спортивной одежды и в учебном процессе кафедры «Конструирование швейных изделий» Текстильного института ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет» при подготовке бакалавров и магистров по направлениям 29.03.05 и 29.04.05 *Конструирование изделий легкой промышленности*.

Наиболее существенные результаты, выносимые на защиту:

- конструктивное устройство костюмов *вингсьют* для парашютных видов спорта;
- методика расчета динамических приращений фигуры спортсмена в основной эргономической позе;
- методика конфекционирования материалов;
- теоретическая модель напряженного состояния крыла костюма в виде системы дифференциальных уравнений, связывающих его геометрические параметры с натяжением тканевой оболочки;
- методика пространственного моделирования крыльев костюма как текстильных оболочек, деформируемых воздушным потоком и конечностями фигуры человека, включающая определение контуров, геометрических параметров, минимального количества сегментов и величины натяжения.

Степень достоверности и апробация результатов работы. Достоверность проведенных исследований и обоснованность результатов подтверждена данными численного и натурного экспериментов, современными методами сбора и обработки исходных данных, методами математического анализа, результатами промышленной апробации и апробации в реальных условиях эксплуатации, внедрений положений диссертации в учебный и научный процесс. Математические модели исследуемых объектов разработаны на основе фундаментальных законов механики и аэродинамики. Результаты измерений обработаны методами математической статистики с достоверной вероятностью 95 %.

Основные положения и результаты диссертационной работы были доложены и получили положительную оценку:

- на международных научно-технических конференциях «Современные наукоемкие технологии и перспективные материалы текстильной и легкой промышленности» («Прогресс»), **Иваново**, ИГТА, 2008, 2010, 2012, 2013; «Новое в технике и технологии текстильной и легкой промышленности», **Республика Беларусь, Витебск**, УО ВГТУ, 2009, 2011, 2014; «Информационная среда вуза», **Иваново**, ИВГПУ, 2013, 2014, 2016; «Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности» («Инновации – 2016»), **Москва**, МГУДТ, 2016;
- международных научно-практических конференциях «Нано-, био-, информационные технологии в текстильной промышленности» («Текстильная химия»), **Иваново**, 2011; «Текстиль, одежда, обувь, средства индивидуальной защиты в XXI веке», **Шахты**, ФГБОУ ВПО «ЮРГУЭС», 2012; **Шахты**, ДГТУ, 2014; «Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации», **Курск**, 2014; «Междисциплинарные исследования в области математического моделирования и информатики», **Ульяновск**, 2014;
- межрегиональной научно-практической конференции «Текстиль и мода – 2007», **Воронеж**, 2007;
- межвузовских научно-технических конференциях «Молодые ученые – развитию текстильной и легкой промышленности» («ПОИСК»), **Иваново**, ИГТА, 2008, 2009, 2011;
- на **заседаниях** кафедры конструирования швейных изделий в 2007–2016 гг.;
- на **выставках** научно-технических достижений, разработок и инноваций «Всероссийский фестиваль науки», **Москва**, ЦВК «Экспоцентр», 2012, 2013; инновационных

изделий в рамках XX Международного «Текстильного салона – 2012», **Иваново**; «Перспективные инновационные материалы и изделия» в рамках X Международного промышленно-экономического форума «Золотое кольцо», **Плес**, 2015; III Национальной выставке-форуме «Вузпромэкспо – 2015», **Москва**; «Инновационный потенциал Ивановской области» в рамках XI Международного промышленно-экономического форума «Золотое кольцо», **Плес**, 2016.

Работа удостоена ряда наград: диплома и **серебряной медали** 41-й Международной выставки изобретений «INVENTIONS GENEVA», **Женева, Швейцария**, 2013; диплома и **золотой медали** Московского Международного салона образования, **Москва**, 2014.

Публикации. Результаты диссертации опубликованы в 28 работах, общий объем которых составляет 9,16 п.л. (личного вклада 6,36 п.л.), в том числе в 4 статьях в журналах, рекомендованных ВАК для опубликования основных научных результатов кандидатских диссертаций, 1 патенте на изобретение, 1 патенте на полезную модель, 2 программах для ЭВМ, 20 публикациях в материалах и тезисах научно-технических конференций различного уровня.

Структура и объем работы. Диссертационная работа содержит 220 страниц и состоит из введения, пяти глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка иллюстративного материала (74 рисунка, 34 таблицы), списка используемой литературы из 204 наименований, в том числе 45 иностранных, и 13 приложений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность избранной темы, степень ее разработанности, определены цели и задачи, научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы и методы диссертационного исследования. Приведены положения, выносимые на защиту, показана степень достоверности и апробация результатов.

В первой главе проанализирована и систематизирована информация, отражающая состояние процесса проектирования одежды для парашютных видов спорта, а также научных исследований и разработок в этой области.

Анализ назначения и конструктивного устройства одежды для парашютных видов спорта показал, что для каждого вида необходим костюм с определенными показателями аэродинамических свойств, адаптированный к условиям эксплуатации с учетом характера приоритетных спортивных движений и требуемого уровня безопасности. Выявлено, что костюм *вингсьют* – наименее изученный вид специальной спортивной одежды. Конструктивной особенностью костюма является наличие дополнительных деталей – двухслойных крыльев, расположенных между рукавами и станом куртки и между половинами брюк. Крыло представляет собой сложный конструктивный узел, проектируемый в плоском состоянии. При эксплуатации костюма в воздушной среде крыло приобретает 3D-форму за счет наполнения полостей крыльев воздухом через специальные отверстия (воздухозаборники) с образованием давления, необходимого для создания подъемной силы и обеспечения условий для свободного парения спортсмена.

Показана необходимость проведения исследований на стыке таких дисциплин, как аэродинамика, механика ткани и биомеханика, для оптимизации конструктивного устройства костюма и крыльев как основных функциональных элементов с целью повышения резерва аэродинамических свойств костюма при эксплуатации для обеспечения надежности и безопасности полета спортсмена. Рассмотрены работы отечественных и зарубежных ученых, посвященные общим вопросам механики аэроупругих оболочек, таких, как парашютные системы и мягкие крылья. Выявлено, что в открытых литературных источниках не достаточно информации о научных исследованиях в области теории проектирования костюма *вингсьют*.

Анализ функциональных возможностей отечественных и зарубежных САПР, выполненный с позиций их необходимости и достаточности для численного моделирования

системы «крыло – воздушная среда», выявил перспективность использования программных сред *CAD SolidWorks* и *CAE SolidWorks FloWorks* в качестве инструмента для прогнозирования поведения исследуемых объектов в полетных условиях и обоснованного выбора рациональных параметров конструкции.

Рассмотрены экспериментальные методы изучения аэродинамических явлений и процессов, сопровождающих обтекание тел потоком воздуха. Поскольку они применимы только для исследования летательных аппаратов с жесткими крыльями (самолетов, паропланов), показана необходимость разработки экспериментальной установки для изучения аэродинамических свойств гибких крыльев костюма из текстильных материалов с последующей верификацией результатов численного компьютерного моделирования.

Анализ процесса проектирования специальной спортивной одежды выявил недостаточность информационного и методического обеспечения. Обоснована необходимость разработки процесса проектирования костюмов для парашютных видов спорта (*КПВС*), базирующегося на применении математического моделирования и современных информационных технологий с обязательным включением аэродинамических свойств воздушной среды эксплуатации (рисунок 1).



Рисунок 1 – Структурная схема этапов процесса проектирования *КПВС*

Сформулированы цель и задачи исследования.

Вторая глава посвящена разработке информационного обеспечения процесса проектирования костюма с позиций биомеханики и механики текстильных материалов.

Выполнен анализ движений спортсмена во время полета и приземления, выявлена основная статикодинамическая поза – «движение вперед». Для оценки динамического соответствия фигуры и чертежей конструкций куртки и брюк использовали угол отведения руки в плечевом суставе относительно вертикали из плечевой точки α и угол отведения ноги в тазобедренном суставе в сторону относительно вертикали из остистоподвздошной точки при сохранении устойчивого положения тела в пространстве θ . Установлены диапазоны изменений этих углов ($\alpha - 52^\circ \dots 72^\circ$, $\theta - 21^\circ \dots 31^\circ$) и их среднее значение ($\alpha = 63^\circ \pm 3^\circ$, $\theta = 25^\circ \pm 3^\circ$).

Новое информационное обеспечение включает:

1) антропометрическую базу данных (*АБД*) в виде набора величин динамических приращений к размерным признакам мужских фигур в основной статико-динамической позе спортсмена;

2) кинематическую антропометрическую схему (*КАС*) для проверки и построения чертежей стана куртки и брюк;

3) правила графоаналитического выбора материалов в виде схемы согласования удлинения тканей под действием растягивающих нагрузок и величин динамических приращений к размерным признакам.

Для формирования *АБД* проведены антропометрические исследования 65 спортсменов в возрасте 18–27 лет, с весом 70–100 кг, ростом 176–188 см, обхватом груди третьим 96–104 см. Параллельно проведены бесконтактные исследования мужских фигур методом плоскостной фотограмметрии с применением зеркальной камеры Nikon D7100. На поверхности фигур были отмечены 11 основных и 22 дополнительные антропометрические точки (*АТ*), между которыми измеряли расстояния при подъеме руки в плечевом суставе и отведении ноги в тазобедренном суставе с шагом 15°. Схема расположения точек показана на рисунке 2. После анализа основных эргономических поз выбраны антропометрические точки, имеющие максимальную амплитуду перемещения: *о* – задний угол подмышечной впадины (до 5,4 см), *н* – передний угол подмышечной впадины (до 4,5 см) и *з* – плечевая точка (до минус 4,8 см). Эти точки использовались для измерения новой комбинации размерных признаков (см. рисунок 2):

1. Высота заднего угла подмышечной впадины косая $B_{зук}$. Этот признак измеряли между точкой *о* и задней точкой на талии ϕ'' . $B_{зук}$ используется для построения и контроля габаритов спинки стана и уровня притачивания нижнего крыла к рукаву.

2. Высота переднего угла подмышечной впадины косая $B_{пвк}$. Этот признак измеряли между точкой *н* и передней точкой на талии ϕ' . $B_{пвк}$ применяется для построения и контроля габаритов полочки стана и уровня притачивания верхнего крыла к рукаву.

3. Угол наклона плечевого ската β между контуром плечевого ската *в-з* и горизонталью из точки основания шеи сбоку *в*. Этот признак используется для построения базовой конструкции стана и контроля угла наклона плечевой линии.

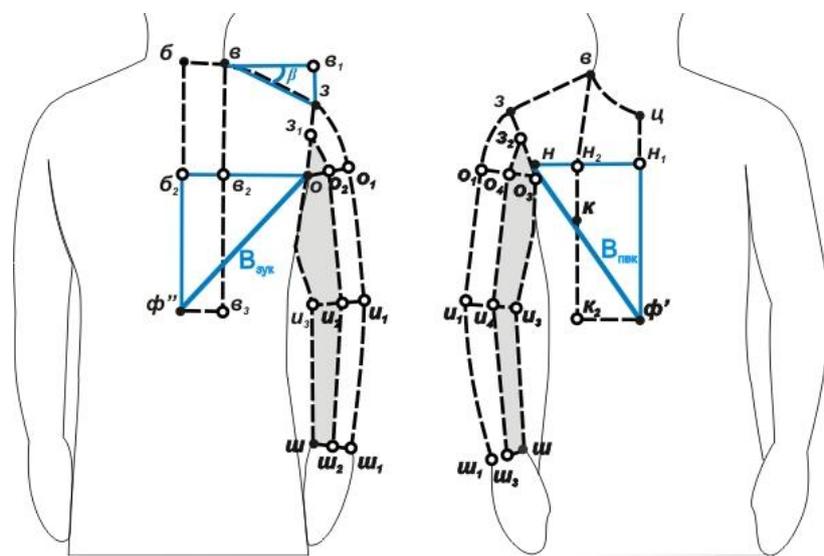


Рисунок 2 – Схема измерения новых РП $B_{зук}$ и $B_{пвк}$ и кинематическая антропометрическая схема верхней части туловища

антропометрическую схему (*КАС*) (см. рисунок 2).

Значения динамических приращений $\Delta B_{зук}$, $\Delta B_{пвк}$, $\Delta Ш_{п}$ разложены на горизонтальные и вертикальные составляющие, названные динамическими прибавками к размерным признакам $Ш_{с}$, $Ш_{п}$ и $B_{прз}$. На рисунке 3 показаны схемы определения этих прибавок в горизонтальном и вертикальном направлениях по *КАС*. Формулы для вычисления и интервалы динамических прибавок представлены в таблице 1.

Десять традиционных (ширина плеча – $Ш_{п}$, расстояние от точки основания шеи сбоку до лучевой точки – $Д_{луч}$, расстояние от точки основания шеи сбоку до линии обхвата запястья – $Д_{зап}$, расстояние от точки основания шеи сбоку до линии талии спереди – $Д_{тп}$, расстояние от точки основания шеи сзади до линии обхватов груди первого и второго с учетом выступа лопаток – $B_{прз}$, длина спины до талии с учетом выступа лопаток – $Д_{тс}$, расстояние от линии талии сзади до точки основания шеи сбоку – $Д_{тс1}$, ширина груди – $Ш_{г}$, ширина спины – $Ш_{с}$, диаметр руки вертикальный – $d_{рв}$) и три новых ($B_{зук}$, $B_{пвк}$, угол β) РП были объединены в кинематическую

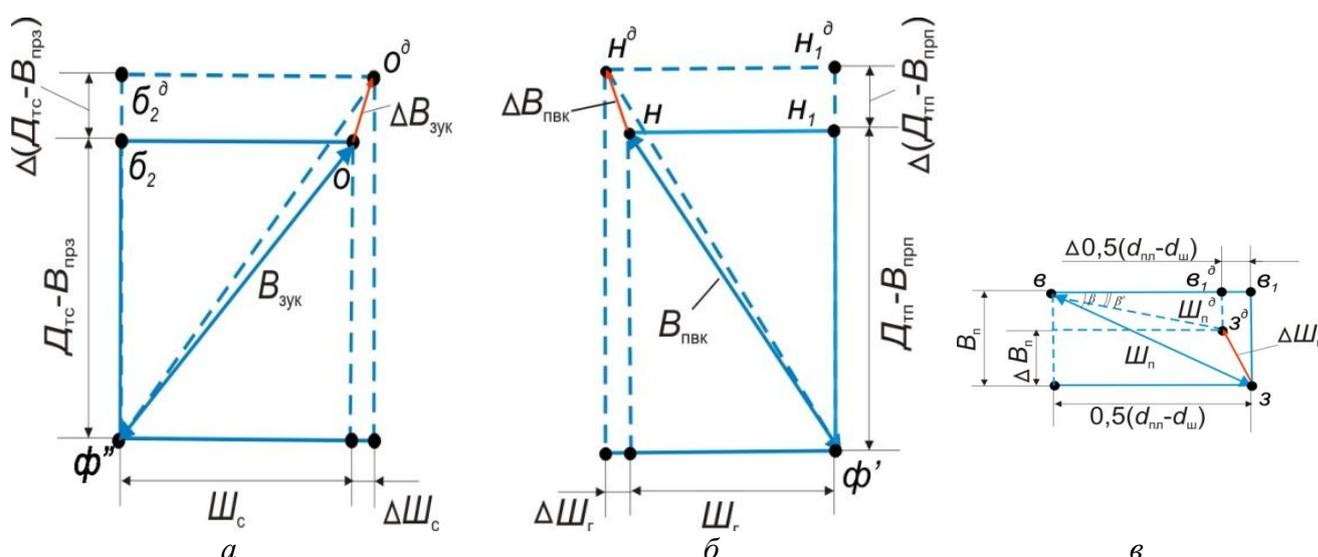


Рисунок 3 – КАС верхней части торса для трех размерных признаков:

a – $B_{зук}$; *б* – $B_{пвк}$; *в* – $Ш_{п}$

Таблица 1 – Формулы для вычисления и интервалы динамических прибавок

Условные обозначения		Величина динамического эффекта, Δ	
Приращение к РП и его составляющим (рисунок 3)	Участок измерения (рисунок 2)	абсолютная, см	относительная, %
$\Delta B_{зук}$	$\Delta(\phi'' - o)$	4,5	14,8
$\Delta B_{зук}^r = \Delta Ш_с$	$\Delta(b_2 - o)$	1,1	6
$\Delta B_{зук}^b = \Delta(D_{TC} - B_{прз})$	$\Delta(b_2 - \phi'')$	4,4	18,7
$\Delta B_{пвк}$	$\Delta(\phi' - n)$	5,4	16,1
$\Delta B_{пвк}^r = \Delta Ш_г$	$\Delta(n_г - n)$	2,0	10,6
$\Delta B_{пвк}^b = \Delta(D_{ТП} - B_{прп})$	$\Delta(n_г - \phi')$	5,3	18,7
$\Delta Ш_{п}$	$\Delta(e - 3)$	- 4,8	29,6
$\Delta Ш_{п}^r = \Delta 0,5(d_{пн} - d_{ш})$	$\Delta(e - e_1)$	- 3,7	24,5
$\Delta Ш_{п}^b = \Delta B_{п}$	$\Delta(3 - e_1)$	- 5,4	75

Установлены математические зависимости для расчета значений дуговых размерных признаков мужских фигур по их проекционным значениям в статике и динамике, изменения величин динамических приращений антропометрических точек o и n от угла отведения руки α , по которым определены величины динамических прибавок к $Ш_с$, $Ш_{п}$, $B_{прз}$. Задавая угол отведения руки, рассчитываем значения составляющих приращений по вертикали и горизонтали по формулам:

$$\begin{cases} \Delta B_{зук}^r = -0,1 \operatorname{tg}(\alpha)^2 + 1,3 \operatorname{tg}(\alpha) + 0,2 \\ \Delta B_{зук}^b = -0,4 \operatorname{tg}(\alpha)^2 + 2,5 \operatorname{tg}(\alpha) + 0,5, \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} \Delta B_{пвк}^r = -0,3 \operatorname{tg}(\alpha)^2 + 1,5 \operatorname{tg}(\alpha) + 0,1 \\ \Delta B_{пвк}^b = -0,2 \operatorname{tg}(\alpha)^2 + 2,4 \operatorname{tg}(\alpha) - 0,3, \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} \Delta Ш_{п}^r = -2,8 \operatorname{tg}(\alpha)^2 - 17,4 \operatorname{tg}(\alpha) - 0,3 \\ \Delta Ш_{п}^b = 0,4 \operatorname{tg}(\alpha)^2 - 2,3 \operatorname{tg}(\alpha) - 0,4. \end{cases} \quad (3)$$

Предложена схема проверки динамического соответствия конструкции куртки с использованием КАС (рисунок 4). С помощью этой схемы можно определить минимальный уровень ограничения свободы движений во время полета, а также при использовании парашютного устройства перед его раскрытием и при удержании строп перед приземлением.

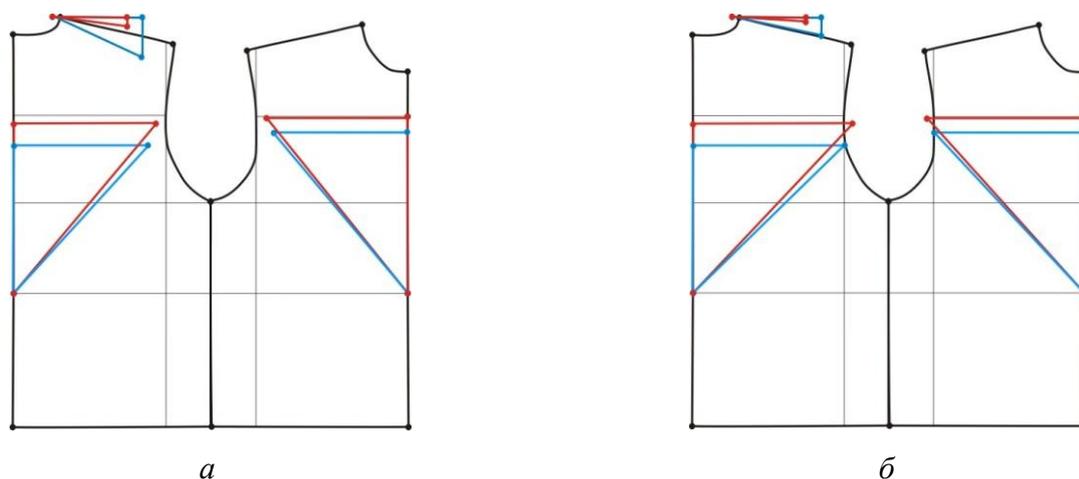


Рисунок 4 – Схема проверки соответствия габаритов базовой конструкции (БК) стана размерным признакам фигуры с помощью КАС:
 а – БК соответствует фигуре, б – БК не соответствует фигуре

Сформированные компоненты антропометрической базы данных (таблица 2) устанавливают функциональные взаимосвязи между угловыми биомеханическими параметрами и линейными измерениями фигур и конструктивными параметрами чертежей базовой конструкции куртки и брюк.

Таблица 2 – Компоненты антропометрической базы данных (АБД)

Объект	Условия измерения	Компоненты АБД	Область применения
1. Фигура спортсмена без костюма	Статические	1. Стандартизированные размерные признаки (РП) в количестве 26 наименований	Выбор исходных данных для построения чертежей деталей стана костюма
2. Фотография фигуры спортсмена без костюма	Статические	2. Стандартизированные РП, вычисленные по их проекциям, в количестве 10 наименований	Выбор исходных данных для построения чертежей деталей стана костюма
3. Фигура спортсмена без костюма в эргономических позах	Динамические	3. Новые РП: $V_{зук}$, $V_{пвк}$, β_d 4. Динамические приращения к $\Delta V_{зук}$ и $\Delta V_{пвк}$ 5. Конструктивные прибавки (КП): $П_{шс}$, $П_{шг}$, $П_{шп}$, $П_{спр}$, рассчитываемые по составляющим $\Delta V_{зук}$ и $\Delta V_{пвк}$ 6. КАС	Выбор исходных данных для построения чертежей деталей стана костюма по новой методике Удаленное адресное проектирование
4. Фигура спортсмена в костюме	Динамические в эргономической позе	7. Угол отведения руки α 8. Угол отведения ноги θ	Построение чертежей крыльев
5. Система "плоский чертеж базовой конструкции – КАС"	Совмещение плоских графических объектов	9. Критерии статикодинамического соответствия конструкции соматическим особенностям фигуры: достаточность величин КП к $Шс$, $Шг$, $Шп$, $V_{прз}$; распределение составляющих $\Delta V_{зук}$ и $\Delta V_{пвк}$ (на подъем плечевой точки и углубление проймы)	Контроль чертежа конструкции куртки и брюк на соразмерность и сбалансированность Удаленное адресное проектирование

Разработанная АБД положена в основу новой технологии проектирования куртки и брюк КПВС и методики адаптации готовых чертежей базовых конструкций.

Разработана методика конфекционирования, экспериментально проверенная на пяти тканях с воздухопроницаемостью менее $5 \text{ дм}^3/\text{м}^2\text{с}$.

Установлено, что максимальной нагрузкой, которая будет действовать на ткань костюма во время свободного полета, является значение $P_{\text{пред}} = 105 \text{ сН/см}$. Исходя из этой величины были определены допустимые относительные удлинения тканых оболочек (рисунок 5).

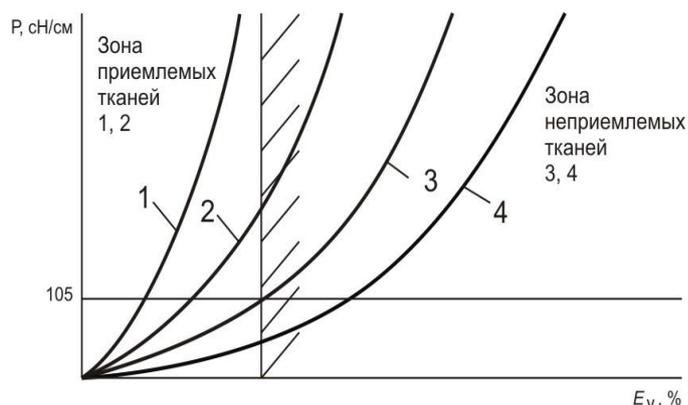


Рисунок 5 – Схема выбора тканей для КПВС

Условие выбора ткани включает проверку соотношения

$$\varepsilon_y \leq \Pi_{\text{отн}} - \Delta, \quad (4)$$

где ε_y – относительное удлинение ткани по утку под действием нагрузки 105 сН/см, %;

$\Pi_{\text{отн}}$ – относительная КП к продольному РП, %;

Δ – минимальная величина динамического приращения к продольному РП фигуры, %.

Алгоритм выбора тканей, согласованный с АБД, представлен в таблице 3.

Таблица 3 – Алгоритм выбора тканей для изготовления КПВС

Содержание этапа	Объекты контроля	Приборное обеспечение	Методическое обеспечение
1. Измерение базовых показателей - воздухопроницаемость V_p ; - поверхностная плотность M_s	T	Прибор ВПТМ.2 Весы	ГОСТ 12088-77 ГОСТ 29104.1-91
2. Измерение удлинения ε_y под действием нагрузки 105 сН/см	T	Прибор KES-FB1	Метод Kawabata
3. Измерение динамических приращений к РП	Φ		Контактные и бесконтактные методы измерений, АБД
4. Выбор значений динамических приращений Δ и построение КАС	Φ		АБД КАС
5. Анализ чертежей конструкции стана и расчет относительных КП	$ЧК$		Методика проверки $ЧК$ стана с помощью КАС
6. Проверка соотношения $\varepsilon_y \leq \Pi_{\text{отн}} - \Delta$	$T, \Phi, ЧК$		Новая методика конфекционирования
7. Выбор ткани			

Примечание: T – ткань, Φ – фигура, $ЧК$ – чертеж конструкции.

Предложенный подход к конфекционированию тканей учитывает антроподинамические особенности фигуры, конструкцию костюма, условия его аэродинамической эксплуатации.

Третья глава посвящена теоретическому моделированию узлов костюма. Проведены исследования по разработке новых принципов проектирования КПВС, исходя из требований к геометрии контуров системы «спортсмен – КПВС» в воздушной среде. Требования к контуру как основному исходному данному сформулированы для фронтальной проекции костюма в статике и динамике.

Для фронтальной проекции в статике определены контуры внешних границ нижних и верхних крыльев с учетом сформированной антропометрической базы данных. В качестве основных геометрических параметров крыла выбраны: размах верхнего крыла в статике $L_{\text{кв}}^6$, размах нижнего крыла в статике $L_{\text{кв}}^H$ (рисунок 6, а), величины которых предложено определять с помощью выражений, представленных в таблице 4. Для определения геометрических параметров крыла во фронтальной проекции в динамике (рисунок 6, б) выделен его базовый элемент – сегмент 1, расположенный между параллельными элементами (нервюрами) 2, соединяющими нижнюю 3 и верхнюю 4 детали крыла (рисунок 7).

Таблица 4 – Выражения для определения размаха верхнего и нижнего крыла в статике

Размах верхнего крыла в статике $L_{кс}^6$, см	Размах нижнего крыла в статике $L_{кс}^H$, см
Для фигур типового телосложения (ФТТ)	
$L_{кс}^6 = ((D_{зап} - Ш_{п}) + П_{Дзап}) - (d_{рв} + П_{снр})$, где $D_{зап}$, $Ш_{п}$, $d_{рв}$ – стандартизированные размерные признаки; $П_{Дзап}$ – прибавка к длине руки до запястья; $П_{снр}$ – прибавка на свободу проймы по глубине	$L_{кс}^H = 2 ((D_{н} - П_{Дс} - P_{пнкp}) k \sin\theta)$, где $D_{н}$ – длина ноги по внутренней поверхности; $П_{Дс}$ – прибавка на глубину сиденья; $P_{пнкp}$ – расстояние от уровня пола до линии низа нижнего крыла; θ – угол отведения ноги; k – поправочный коэффициент: $k = 0,56 \pm 0,05$
Для фигур нетипового телосложения (ФНТ)	
$L_{кс}^6 = ((з - ш_1) + П_{Дзап}) - ((з - о_1) + П_{снр})$, где $з - ш_1$ и $з - о_1$ – участки КАС руки (рисунок 2)	$L_{кс}^H = ((П - м_1 - ш_1) - П_{Дс} - P_{пнкp}) k \sin\theta$, где $П - м_1 - ш_1$ – участок КАС ноги (рисунок 6, а)

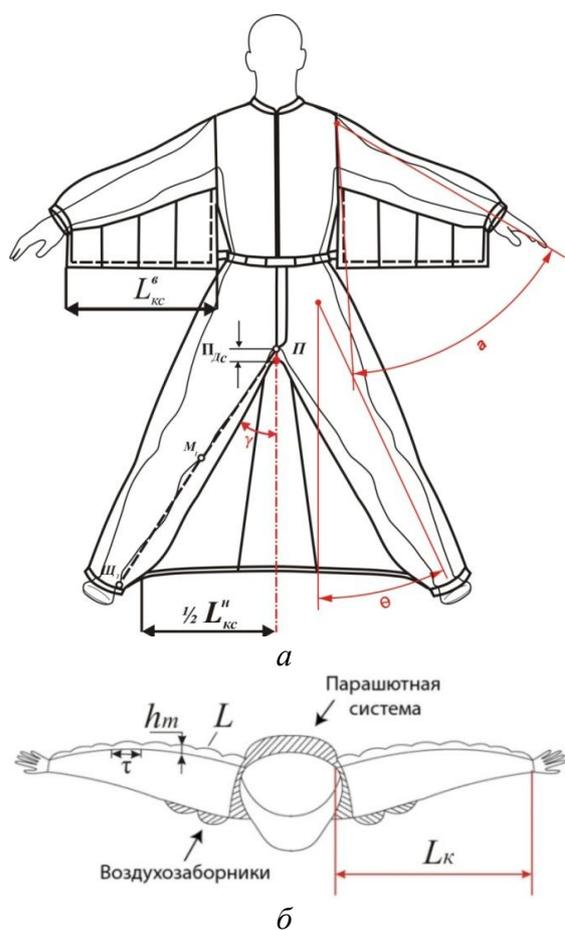


Рисунок 6 – Контуры КПВС во фронтальных проекциях в статике (а) и динамике (б) и параметры, используемые для их проектирования

Контур сегмента в динамическом состоянии формируется набегающим потоком воздуха и приобретает особую, необходимую для увеличения подъемной силы, аэродинамическую форму (рисунок 7, б). Управляемыми геометрическими параметрами, задающими форму контура сегмента крыла, выбраны: высота сегмента h_m , см; длина основания сегмента τ , см; длина линии контура сегмента L , см; суммарная ширина сегментов в динамическом состоянии $L_{к}$, см (см. рисунок 6, б).

Проведено моделирование динамического состояния сегмента крыла, находящегося под напором воздуха при свободном парении спортсмена, с целью определения натяжения сегмента крыла и вывода уравнения линии его контура. Под напором воздуха в продольном сечении сегмента крыла действует натяжение P [Н/м]. При моделировании принимали, что ткань обладает воздухонепроницаемостью, идеальной гибкостью и невесома. На рисунке 8 изображена геометрическая модель фрагмента сегмента крыла в динамическом состоянии.

Выведена система уравнений, моделирующая динамическое состояние сегмента крыла и связывающая величину натяжения в сегменте крыла $P(x)$ с зависимостью $y(x)$:

$$\begin{aligned} P'(x)\{1 - 0,5[y'(x)]^2\} - P(x)[y'(x)]^2 y''(x) - p y'(x) &= 0; \\ y'(x) y''(x)\{1 - 1,5[y'(x)]^2\} + P'(x) y'(x)\{1 - 0,5[y'(x)]^2\} + p &= 0, \end{aligned} \quad (5)$$

где P – натяжение в сегменте крыла, Н/м;

p – динамическое давление внутри сегмента крыла, Па;

$y(x)$ – зависимость, описывающая линию контура сегмента крыла.

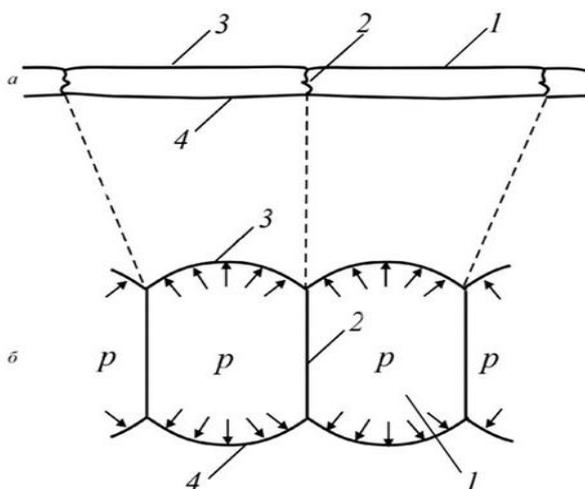


Рисунок 7 – Схема поперечного сечения сегментов крыла в статическом (а) и динамическом (б) состояниях

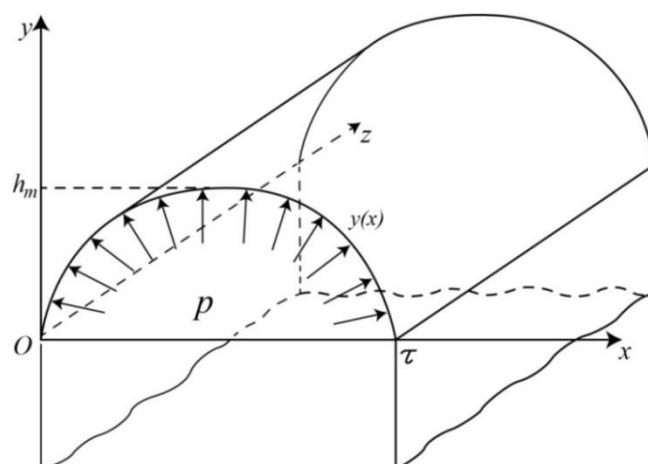


Рисунок 8 – Схема фрагмента оболочки сегмента крыла в динамическом состоянии: $p = 0,5\rho_a v^2$ – динамическое давление, Па; v – скорость спортсмена, м/с; ρ_a – плотность воздуха, кг/м³; τ – длина основания сегмента, см; h_m – высота сегмента, см

Из (5) следует, что дифференциальное уравнение, задающее линию контура сегмента крыла, имеет вид:

$$y'''(x) - 3(y''(x))^2 y'(x) = 0. \quad (6)$$

Граничные условия для решения уравнения (6):

$$y(0) = y(\tau) = 0; \quad y'(0) = y'_0; \quad y'(\tau) = -y'_0; \quad y(0,5\tau) = h_m. \quad (7)$$

Получено промежуточное решение уравнения (6):

$$y'(x) = \pm \left\{ -\frac{2}{3} \ln(C_2 + 2C_1 y(x)) \right\}^{0,5}, \quad (8)$$

где $0 < C_2 + 2C_1 y(x) \leq 1$; C_1 и C_2 – постоянные, которые определяются из (7).

Знак «плюс» перед корнем в (8) соответствует восходящей линии контура сегмента крыла ($0 \leq x < 0,5\tau$), а знак «минус» – нисходящей линии этого контура ($0,5\tau < x \leq \tau$).

Показано, что решением уравнения (8) является зависимость $y = y(x)$, где константы C_1 и C_2 определяются по следующим формулам:

$$C_1 = \frac{1 - \exp(-1,5(y'_0)^2)}{2h_m}; \quad C_2 = \exp(-1,5(y'_0)^2), \quad (9)$$

а величина y'_0 – путем решения нелинейного уравнения

$$\int_0^{h_m} \left\{ -\frac{2}{3} \ln \left[\frac{y + \exp(-1,5(y'_0)^2)(h_m - y)}{h_m} \right] \right\}^{-0,5} dy = 0,5\tau. \quad (10)$$

Доказано, что натяжение, испытываемое тканью сегмента во время полета спортсмена, определяется соотношением

$$P = \frac{p[1 + 1,5(y')^2]}{|y''|}. \quad (11)$$

Разработан численный метод решения уравнения (8) при задании параметров крыла τ и h_m для определения величины y'_0 . Для получения численных значений функции $x(y)$ вычисляли массив величин x_i в зависимости от значений $y_i = ih_m/m$ по формуле

$$x_i = \int_0^{y_i} \frac{dy}{\sqrt{-\frac{2}{3} \ln f(y, h_m, y'_0)}}, \quad (12)$$

где $i = 1, 2 \dots m$; m – целое число.

Линия контура сегмента крыла в виде функции $y(x)$ определялась по значениям координат x_i и y_i сплайн-интерполяцией.

Для экспериментальной проверки теоретического расчета линии контура сегмента крыла разработан аэродинамический стенд, представляющий собой находящийся под избыточным давлением макет сегмента крыла с размерами, в несколько раз превосходящими реальные: $\tau = 72$ см; $h_m = 11,2$ см, $L = 76,6$ см. Избыточное давление поддерживали равным 1500 Па, что соответствует условиям полета спортсмена со скоростью 50 м/с. Измерения линии контура проведены в четырех сечениях по длине макета крыла. Обработка полученных экспериментальных данных с помощью критерия Пирсона показала, теоретические данные удовлетворительно согласуются с экспериментальными.

Разработана методика решения упрощенного уравнения (6):

$$y'(x)y'''(x) + (y''(x))^2 = 0. \quad (13)$$

Показано, что линию контура сегмента крыла можно аппроксимировать параболой $y_{\text{п}}(x) = -ax(x - \tau)$, где $a = y'_0/\tau$. В этом случае высота сегмента равна $h_m = 0,25y'_0\tau$.

Выведена зависимость для расчета длины линии контура сегмента крыла:

$$L = [1 + (y'_{\text{п}0})^2/6] \frac{L_{\text{к}}}{n}, \quad (14)$$

где n – количество сегментов.

Обозначив $L_{\text{отн}} = L_{\text{к}}/L_{\text{кС}}$, имеем уравнение линии контура сегмента

$$y_{\text{п}}(x) = -\frac{n}{L_{\text{отн}}L_{\text{кС}}} x \left(x - \frac{L_{\text{отн}}L_{\text{кС}}}{n} \right) \sqrt{6 \left(\frac{1}{L_{\text{отн}}} - 1 \right)}. \quad (15)$$

Параболическая модель (15) применима для расчета высоты и построения линии контура сегмента при моделировании трехмерной параметрической модели крыла в программе *SolidWorks*.

Натяжение ткани в сегменте определено с учетом характера изменения первой и второй производных функции $y(x)$ в соответствии с уравнением (8). Показано, что натяжение ткани в сегменте монотонно возрастает на отрезке $[0; 0,5\tau]$, достигая своего максимального значения

$$P_{\text{max}} = \frac{3h_m}{1 - \exp(-1,5(y'_0)^2)} \frac{\rho_a v^2}{2} \quad (16)$$

в точке $x = 0,5\tau$.

Так как костюм для парашютных видов спорта является изделием многоразового использования, то принято, что величина коэффициента запаса прочности для него такая же, как и для парашютных систем. Таким образом, допустимая величина натяжения ткани в сегменте крыла определяется соотношением

$$P_{\text{max}} \leq P_{\text{разр}} / \eta_{\text{зп}}, \quad (17)$$

где $P_{\text{разр}}$ – разрывное натяжение ткани (отношение разрывной нагрузки к ширине испытуемого отрезка ткани), Н/м; $\eta_{\text{зп}}$ – коэффициент запаса прочности.

Обозначим через τ_r граничное значение τ , а через ξ – отношение длины основания сегмента к его высоте τ/h_m . Следовательно,

$$\tau \leq \tau_r, \quad (18)$$

где $\tau_r = \frac{\xi(\alpha_0) \{1 - \exp[-1,5(y'_0)^2]\} P_{\text{разр}}}{3\eta_{\text{зп}} \rho_{\text{дин}}}$.

Показано, что

$$\xi(L_{отн}) = 4 \sqrt{\frac{L_{отн}}{6(1-L_{отн})}}. \quad (19)$$

Получаем

$$\tau_r(L_{отн}) = \xi(L_{отн}) \{1 - \exp[-1,5(y'_0(\xi(L_{отн})))^2]\} P_{разр} / (3\eta_{зп} p_{дин}). \quad (20)$$

Следовательно, предельная высота сегмента $h_{m\Gamma}$ определяется по формуле

$$h_{m\Gamma}(L_{отн}) = \frac{\tau(L_{отн})}{\xi(L_{отн})} = \frac{\{1 - \exp[-1,5(y'_0(\xi(L_{отн})))^2]\} P_{разр}}{3\eta_{зп} p_{дин}}. \quad (21)$$

Диапазон изменения величины высоты сегмента h_m ограничен условиями, необходимыми для быстрого заполнения полости сегментов крыла воздухом в начале полета и обеспечения минимально возможного аэродинамического сопротивления крыла. Первое условие требует увеличения высоты сегмента h_m , а второе, наоборот, уменьшения этой высоты. В качестве компромиссного значения высоты сегмента крыла выбрали значение $h_m = 1$ см, полагая, что это значение обеспечивает как быструю наполняемость сегментов воздухом, так и достаточно низкую величину поперечного сечения крыла. Получили зависимость для определения величины ширины основания сегмента:

$$\tau_1 = 4 \sqrt{\frac{L_{отн}}{6(1-L_{отн})}}. \quad (22)$$

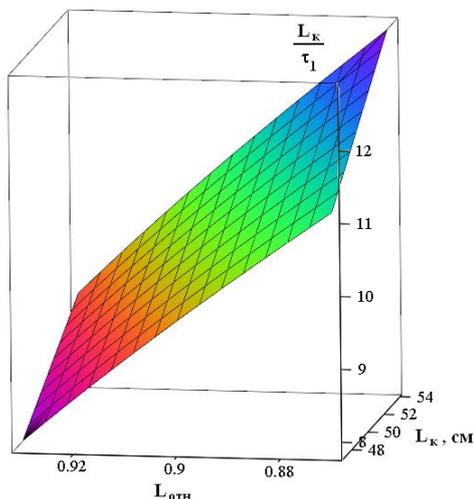


Рисунок 9 – График зависимости отношения величины L_k к τ_1 от значений L_k и $L_{отн}$

Величина суммарной ширины сегментов $L_{кс}$ изменяется в диапазоне от 47 до 53,4 см для мужских фигур типового телосложения размерных вариантов (170–188) – (88–108).

На рисунке 9 представлен график зависимости отношения величины L_k к τ_1 от значений L_k и $L_{отн}$, который определяет количество сегментов. Как следует из графика, с целью обеспечения безопасности полета, удовлетворительной наполняемости сегментов воздухом и уменьшения аэродинамической силы сопротивления крыло *КПВС* должно содержать **не менее восьми сегментов**.

Четвертая глава посвящена численным и экспериментальным исследованиям системы «крыло *КПВС* – воздушная среда».

Для прогнозирования поведения и проверки работоспособности крыльев костюма *вингсьют* в условиях, приближенных к полетным, в *CAD*-программе *SolidWorks* разработан алгоритм построения трехмерных параметрических моделей, предусматривающий возможность их трансформации за счет варьирования величин геометрических параметров, влияющих как на объемно-пространственную форму, так и на аэродинамические характеристики крыла. В качестве исходных данных использованы следующие параметры крыльев: длина основания сегмента τ , высота сегмента h_m , параболическая модель (15) для построения линии контура сегмента крыла, суммарная ширина сегментов в статике $L_{кс}$, количество сегментов n , количество нервюр ($n-1$), высота бокового профиля крыла и нервюр, длина верхней кромки крыла, длина нижней кромки крыла, вид и расположение воздухозаборников.

Проведено моделирование и выполнен инженерный анализ процесса внешнего обтекания воздушным потоком крыльев: определены скорости потоков воздуха; визуализирован турбулентный процесс обтекания воздушным потоком моделей крыльев

костюма; проведена оценка работоспособности моделей крыльев с заданными геометрическими и конструктивными параметрами в воздушной среде, целевая оптимизация конструкции крыльев костюма. При численном моделировании скорость набегающего воздушного потока принималась равной 49,7 м/с, соответствующей экстремальным условиям эксплуатации при соблюдении требований теории подобия.

Изучены особенности внешнего обтекания воздушным потоком геометрических моделей крыльев: модели – аналога (МА) «Prodigy-2» фирмы Phoenix-fly (Хорватия) с четырьмя сегментами и спроектированных крыльев с увеличенным количеством сегментов от пяти до девяти (МП-1 – МП-5). Для каждой модели крыла рассчитано динамическое давление, определены средние величины скоростей потоков воздуха и разность динамических давлений над крылом и под ним (таблица 5). При увеличении количества сегментов с четырех до девяти имеет место нарастание разности статических давлений под крылом и над ним, что увеличивает подъемную силу, действующую на исследуемый объект.

Таблица 5 – Аэродинамические показатели численного моделирования системы «крыло костюма – воздушная среда»

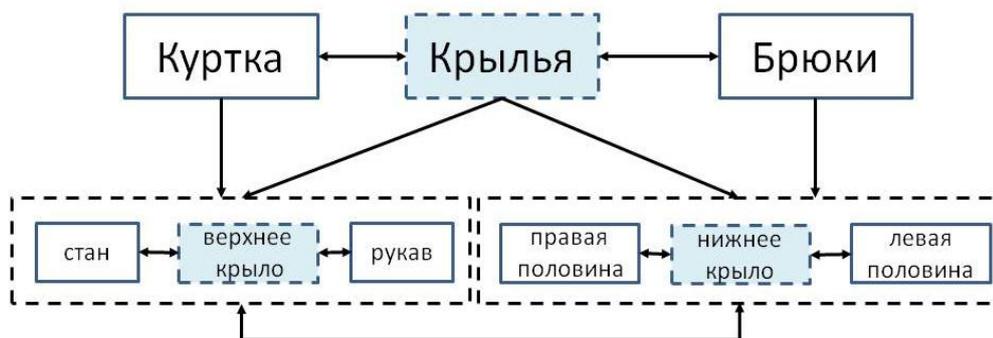
Вид крыла	Кол-во сегментов	Средняя скорость потока воздуха, м/с		Средние величины динамических давлений, Н/м ²		Разность статических давлений, Н/м ²
		V_B	V_H	$0,5\rho_a V_B^2$	$0,5\rho_a V_H^2$	
МА	4	47,4	42,4	899	1123	224
МП-1	5	47,6±0,1	41,5±0,1	860,3±5,2	1131,9±3,8	271,6±6,6
МП-2	6	48,3±0,1	42,0±0,1	881,2±4,4	1167,4±6	286,3±10
МП-3	7	48,1±0,1	41,4±0,1	857,0±5,6	1158,7±6,2	301,7±8,8
МП-4	8	48,7±0,1	41,5±0,1	860,3±3,3	1184,9±6,1	324,6±6,4
МП-5	9	48,9±0,2	38,1±0,2	725,8±5,7	1196,6±8,3	470,8±13,1

Доверительный интервал рассчитан с доверительной вероятностью $P = 0,95$.

Для подтверждения результатов, полученных в ходе численного моделирования, проведены натурные эксперименты в специально разработанной аэродинамической установке. В качестве показателей аэродинамических свойств крыла выбраны его устойчивость при наполнении воздушным потоком и отсутствие срыва потока на конце крыла. Срыв потока определяли с помощью светоотражающих индикаторных лент. Проведен качественный анализ поведения крыла в динамическом состоянии при компьютерном моделировании и во время натурального эксперимента в аэродинамической установке. Сравнение угловых параметров между нижней поверхностью крыла и направлением воздушного потока над крылом, полученных при численном и физическом моделировании, показало их близость: 49° и 51°. Таким образом, экспериментально подтверждены теоретические модели для расчета геометрических параметров крыла.

Пятая глава посвящена разработке принципов согласованного конструирования новых узлов куртки «стан – верхнее крыло – рукав» («С – ВКр – Р») и брюк «правая половина – нижнее крыло – левая половина» («ПП – НКр – ЛП») костюма для парашютных видов спорта. Схема поузлового проектирования КПВС представлена на рисунке 10.

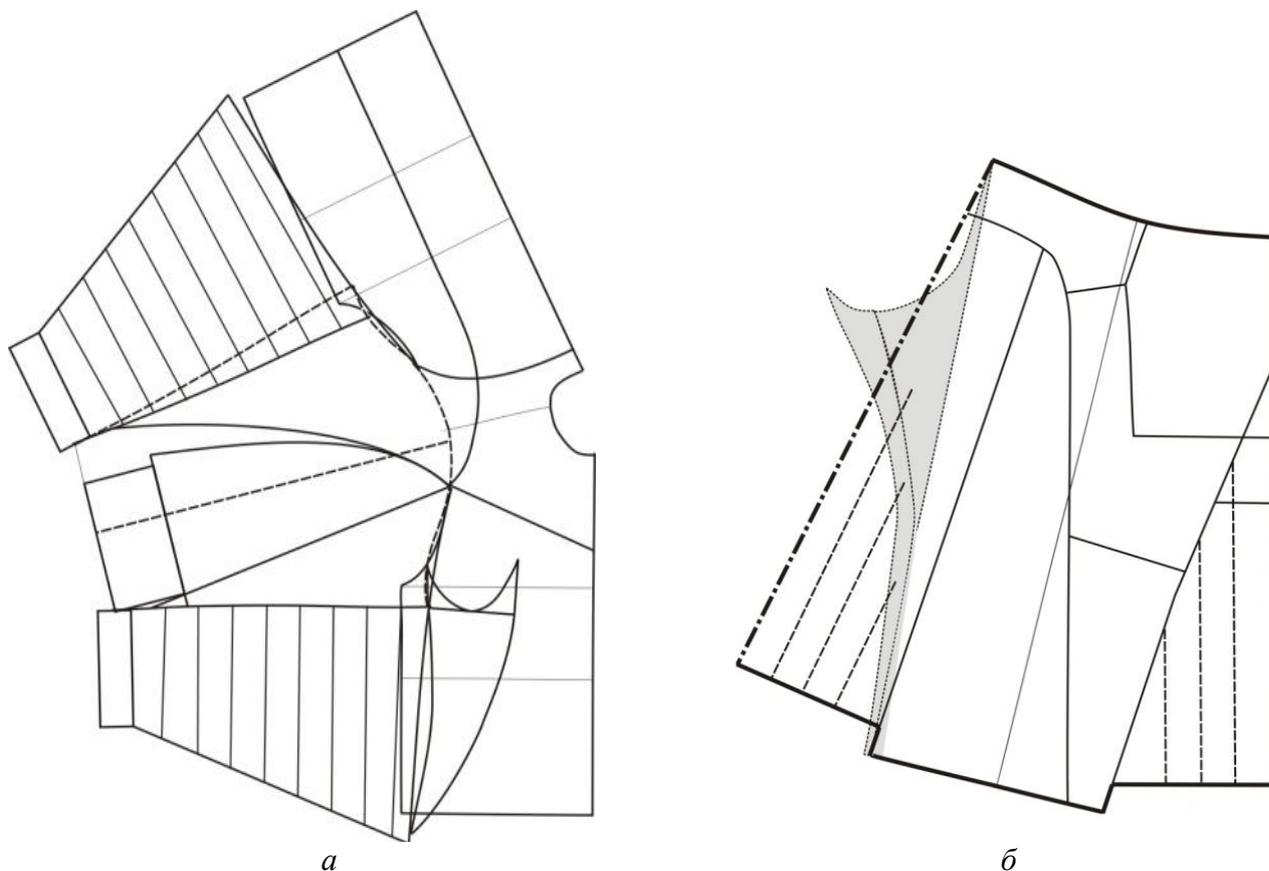
Исходными данными для проектирования являются: размерные признаки, измеренные по фотоизображению фигуры спортсмена; конструктивные прибавки к размерным признакам; условия деформирования текстильной оболочки; величины динамических приращений к размерным признакам $B_{зук}$, $B_{пвк}$, $Ш_п$; требования к контуру фронтальных проекций системы «спортсмен – КПВС» в статике и динамике; основные геометрические параметры крыльев: размах верхнего крыла в статике $L_{кc}^e$; размах нижнего крыла в статике $L_{кc}^H$; высота бокового профиля (боковой части) крыла $H_{кр}$; управляемые геометрические параметры базового элемента крыла – сегмента: высота сегмента h_m , длина основания сегмента τ ; площадь фронтальной проекции системы «спортсмен – КПВС» S .

Рисунок 10 – Схема поузлового проектирования *КПВС*

Новыми приемами конструирования являются: формирование *КАС* по фотографии фигуры спортсмена; проверка и адаптация чертежей *БК* стана куртки и брюк к условиям эксплуатации в воздушной среде; согласование параметров проймы и оката втачного рукава с помощью универсального шаблона; алгоритм построения плоских разверток и воспроизведение необходимых контуров узлов «С – ВКр – Р» и «ЛП – НКр – ЛП» *КПВС*; конструкция узлов *КПВС*.

Новыми приемами в области технологии являются: последовательность сборки узлов «С – ВКр – Р» и «ЛП – НКр – ЛП» и способы крепления крыльев.

Экспериментальная проверка осуществлена на примере *КПВС* для начинающих спортсменов-вингсьютеров. Чертеж модельной конструкции куртки и брюк нового *КПВС* представлен на рисунке 11.

Рисунок 11 – Схема чертежа модельной конструкции нового *КПВС*: а – куртки; б – брюк

Разработанный алгоритм построения чертежей реализован в САПР «Грация».

Опытный образец нового костюма (рисунок 12, *а*) прошел испытания в аэроклубе НП «Звезда» (г. Шилово Рязанской области) во время 10 прыжков с высоты 3000 м из самолета «Ан-2».

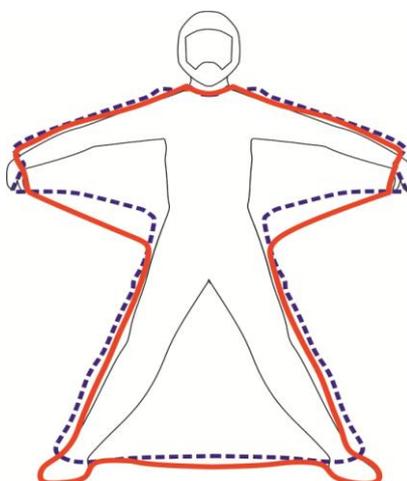
Сравнение показателей модели-аналога и нового костюма представлено в таблице 6, контуров – на рисунке 12, *б, в*.

Таблица 6 – Сравнение показателей модели-аналога и нового костюма

Наименование показателя, единицы измерения	Значение показателя	
	МА	модели новой конструкции
1. Средняя скорость потока воздуха над крылом $V_в$, м/с	47,4	48,9±0,2
2. Средняя скорость потока воздуха под крылом $V_н$, м/с	42,4	38,1±0,2
3. Средняя величина динамического давления над крылом, Н/м ²	899	725,8±7,5
4. Средняя величина динамического давления под крылом, Н/м ²	1123	1196,6±10,9
5. Разность статических давлений между нижним и верхним крылом, Н/м ²	224	470,8±17
6. Площадь крыльев костюма, м ²	0,436	0,468



а



б



в

Рисунок 12 – Сравнение контуров модели-аналога и нового костюма для ПВС:
а – фото нового костюма; *б, в* – наложение контуров

Результаты испытаний подтвердили улучшенные аэродинамические показатели нового костюма. Таким образом, цель, поставленная в работе, достигнута.

Итоги выполненного исследования

1. Разработаны новая технология проектирования и конструкция костюма для парашютных видов спорта, состоящего из куртки и брюк и несущих элементов в виде многослойных крыльев, наполняемых воздухом, двух видов: крыло первого вида соединяет рукава со станом, крыло второго вида соединяет левую и правую половины брюк.

2. Сформирована новая антропометрическая база данных, необходимая для проектирования деталей куртки и брюк с крыльями, в соответствии с биомеханическими особенностями фигур спортсменов, принимающих разные эргономические позы, и ограничениями, накладываемыми особенностями эксплуатации КПВС на земле и в воздухе. База данных состоит из десяти стандартизированных и трех новых размерных признаков, динамических приращений к трем из них и кинематической антропометрической сети.

3. Предложены три новых дополнительных размерных признака, измеренные в эргономических позах спортсменов, для описания положения верхних и нижних конечностей

спортсмена в костюме *вингсьют* и согласования параметров чертежей новых узлов куртки «стан – верхнее крыло – рукав» и брюк «правая половина – нижнее крыло – левая половина».

4. Исследованы деформации растяжения тканей под действием растягивающих нагрузок, возникающих при заполнении многослойных крыльев воздухом, установлены допустимые значения их удлинения и разработана методика конфекционирования.

5. Разработаны теоретические модели деформирования несущих элементов костюма – крыльев, наполняемых воздухом; рассчитаны их основные геометрические параметры: количество нервюр, расстояния между ними и допустимое увеличение высоты сегмента, которые в совокупности обеспечивают быстрое заполнение крыльев воздухом с образованием давления, что приводит к уменьшению аэродинамического сопротивления.

6. Проведены численное моделирование виртуальных крыльев в программных средах *SolidWorks* и *SolidWorks FloWorks* и экспериментальные исследования материальных крыльев на специальной аэродинамической установке с верификацией их результатов.

7. Разработан новый алгоритм построения плоских чертежей деталей стана, брюк и крыльев с использованием новой антропометрической базы данных и результатов теоретических расчетов параметров крыльев для проектирования костюма с необходимыми контурами в разных проекциях.

8. Проведена проверка в реальных условиях опытного образца *КПВС*, подтвердившая его высокие аэродинамические свойства.

Рекомендации, перспективы дальнейшей разработки темы

Результаты, полученные в диссертационном исследовании, рекомендуются для использования при проектировании одежды для парашютных видов спорта, при разработке баз данных для автоматизированного проектирования, а также в научном и учебном процессе.

Основные научные публикации по теме диссертационного исследования

1. Корнилович, А.В. Применение процессного подхода при проектировании одежды для экстремальных видов спорта / А.В. Корнилович, Л.Ю. Киприна // Изв. вузов. Технол. текст. пром-сти. – 2010. – № 5(326). – С. 75 – 77. – **0,19 п.л. / 0,15 п.л.**

2. Корнилович, А.В. Оптимизация аэродинамических характеристик крыльев костюма *wing-suit* / А.В. Корнилович, В.Е. Кузьмичев // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 1. – URL: <http://www.science-education.ru/107-8215> (дата обращения: 28.01.2013). – **0,44 п.л. / 0,38 п.л.**

3. Корнилович, А.В. Моделирование формы сегмента контура крыла костюма для парашютных видов спорта / А.В. Корнилович, В.Е. Кузьмичев, Шунци Мэй // Изв. вузов. Технол. текст. пром-сти. – 2013. – № 2(344). – С. 143 – 147. – **0,31 п.л. / 0,25 п.л.**

4. Корнилович, А.В. Разработка принципов проектирования костюмов для парашютных видов спорта / А.В. Корнилович, В.Е. Кузьмичев // Изв. вузов. Технол. текст. пром-сти. – 2016. – № 6(366). – **0,5 п.л. / 0,4 п.л.**

5. Пат. 2395221 Российская Федерация, МПК А41Н 3/01. Универсальный шаблон для диагностики и построения проймы и оката втачного рукава / Ло Юнь, Корнилович А.В., Макарова Н.Е., Кузьмичев В.Е.; заявитель ФГБОУ ВПО «ИГТА». – № 2009118315/12; заявл. 14.05.2009; опубл. 27.07.10, Бюл. № 21. – **0,44 п.л. / 0,3 п.л.**

6. Пат. 110609 Российская Федерация, МПК А41 D 13/00. Костюм для парашютных видов спорта / Оверчук И.С., Корнилович А.В., Кузьмичев В.Е.; заявитель ФГБОУ ВПО «ИГТА». – № 2011131586; заявл. 27.07.11; опубл. 27.11.11, Бюл. № 33. – **1 п.л. / 0,7 п.л.**

7. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2010615754 Российская Федерация. Программа построения чертежа конструкции комбинезона для парашютного спорта «вингсьют» / М.Н. Винокурова, А.В. Корнилович; заявитель ФГБОУ ВПО «ИГТА». – № 2010614095; заявл. 08.07.10; опубл. 03.09.10. – 16 с. – **1 п.л. / 0,7 п.л.**

8. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2011617381 Российская Федерация. Программа построения чертежа модельной конструкции куртки и брюк костюма для парашютных видов спорта / А.В. Корнилович, О.Н. Гришина, В.Е. Кузьмичев; заявитель ФГБОУ ВПО «ИГТА». – № 2011615626; заявл. 26.07.11; опублик. 21.07.11. – 23 с. – **1,44 п.л. / 1,1 п.л.**

9. Корнилович, А.В. Гибридное моделирование как инструмент для оптимизации конструктивных параметров крыла костюма wingsuit / А.В. Корнилович // *Фундаментальные исследования*. – 2013. – № 10 (Ч. 1). – С. 30 – 34. – URL: www.rae.ru/fs/?section=content&op=show_article&article_id=10001419 (дата публикации: 01.08.2013). – **0,31 п.л.**

10. Ефремова, Н.Е. Исследование эргономичных поз спортсменов-парашютистов для проектирования специальной одежды / Н.Е. Ефремова, А.В. Корнилович // *Текстиль и мода – 2007: сб. докладов и сообщений межрег. науч.-практ. конф.* – Воронеж: ИГТА, 2007. – С. 28 – 31. – **0,25 п.л. / 0,22 п.л.**

11. Макарова Н.Е. Совершенствование антропометрической базы данных для процесса проектирования эргономичной спортивной одежды / Н.Е. Макарова, Н.Ю. Громова, А.В. Корнилович // *Молодые ученые – развитию текстильной и легкой промышленности (ПОИСК – 2008): сб. материалов межвуз. науч.-техн. конф. аспирантов и студентов*. – Иваново: ИГТА, 2008. – Ч.1. – С. 127. – **0,06 п.л. / 0,04 п.л.**

12. Корнилович, А.В. Разработка критериев оценки балансовых характеристик в одежде, эксплуатируемой в экстремальных ситуациях / А.В. Корнилович, В.Е. Кузьмичев, Н.А. Сахарова // *Современные наукоемкие технологии и перспективные материалы текстильной и легкой промышленности (ПРОГРЕСС – 2008): сб. материалов междунар. науч.-техн. конф.* – Иваново: ИГТА, 2008. – Ч.1. – С. 276. – **0,06 п.л. / 0,04 п.л.**

13. Оверчук, И.С. Разработка технологии проектирования аэродинамичных изделий из текстильных материалов / И.С. Оверчук, А.В. Корнилович // *Молодые ученые – развитию текстильной и легкой промышленности (ПОИСК – 2009): сб. материалов межвуз. науч.-техн. конф. аспирантов и студентов*. – Иваново: ИГТА, 2009. – Ч.1. – С. 258 – 259. – **0,13 п.л. / 0,1 п.л.**

14. Корнилович, А.В. Новый подход к процессу проектирования одежды для экстремальных видов спорта / А.В. Корнилович, В.Е. Кузьмичев // *Новое в технике и технологии текстильной и легкой промышленности: материалы междунар. науч. конф.* – Республика Беларусь, Витебск: УО «ВГТУ», 2009. – Ч.1. – С. 263 – 264. – **0,13 п.л. / 0,1 п.л.**

15. Корнилович, А.В. Построение функциональных моделей процесса проектирования одежды для экстремальных видов спорта / А.В. Корнилович, Л.Ю. Киприна // *Современные наукоемкие технологии и перспективные материалы текстильной и легкой промышленности (ПРОГРЕСС – 2010): сб. материалов междунар. науч.-техн. конф.* – Иваново: ИГТА, 2010. – Ч.1. – С. 182 – 183. – **0,13 п.л. / 0,1 п.л.**

16. Гришина, О.Н. Экспериментальное обоснование оптимальных конструктивных решений костюмов для парашютного спорта «вингсют» / О.Н. Гришина, И.С. Оверчук, А.В. Корнилович // *Молодые ученые – развитию текстильной и легкой промышленности (ПОИСК – 2011): сб. материалов межвуз. науч.-техн. конф. аспирантов и студентов*. – Иваново: ИГТА, 2011. – Ч.1. – С.198. – **0,06 п.л. / 0,04 п.л.**

17. Корнилович, А.В. Улучшение эксплуатационных характеристик костюмов для парашютных видов спорта / А.В. Корнилович, И.С. Оверчук // *Новое в технике и технологии текстильной и легкой промышленности: материалы междунар. науч. конф.* – Республика Беларусь, Витебск: УО «ВГТУ», 2011. – Ч.1. – С. 190 – 192. – **0,19 п.л. / 0,16 п.л.**

18. Корнилович, А.В. Исследование возможностей программного обеспечения Solidworks для проектирования элементов конструкции аэродинамичной одежды / А.В. Корнилович // *Текстиль, одежда, обувь, средства индивидуальной защиты в XXI веке: материалы III Междунар. науч.-практ. конф.* – Шахты: ФГБОУ ВПО «ЮРГУЭС», 2012. – С. 221 – 224. – <http://www.libdb.sssu.ru>. – **0,25 п.л.**

19. Корнилович, А.В. Использование имитационного моделирования при проектировании костюма для парашютных видов спорта / А.В. Корнилович, В.Е. Кузьмичев,

Е.Н. Калинин // Современные наукоемкие технологии и перспективные материалы текстильной и легкой промышленности (ПРОГРЕСС – 2012): сб. материалов междунар. науч.-техн. конф. – Иваново: ИГТА, 2012. – Ч.1.– С. 232 – 234. – **0,19 п.л. / 0,15 п.л.**

20. Корнилович, А.В. Теоретическое обоснование проектирования объемно-пространственной формы аэродинамичной одежды / А.В. Корнилович, В.Е. Кузьмичев // Современные наукоемкие технологии и перспективные материалы текстильной и легкой промышленности (ПРОГРЕСС – 2013): сб. материалов междунар. науч.-техн. конф. – Иваново: ИГТА, 2013. – Ч.1.– С. 232 – 234. – **0,19 п.л. / 0,15 п.л.**

21. Корнилович, А.В. Применение новых информационных технологий при проектировании костюма для парашютных видов спорта / А.В. Корнилович, А.Г. Молькова // Информационная среда вуза: сб. материалов междунар. науч.-техн. конф. – Иваново: ИВГПУ, 2013. – С. 378 – 380. – **0,19 п.л. / 0,16 п.л.**

22. Корнилович, А.В. Проектирование костюма для парашютных видов спорта с применением технологии FLOWORKS / А.В. Корнилович // Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации: сб. науч. трудов XI Междунар. науч.-практ. конф. – Курск, 2014. – Т. 2. – С. 227 – 229. – **0,19 п.л.**

23. Корнилович, А.В. Приближенное решение уравнения для моделирования напряженного состояния крыла костюма wingsuit / А.В. Корнилович // Междисциплинарные исследования в области математического моделирования и информатики: материалы 4-й науч.-практ. internet-конф. – Ульяновск: SIMJET, 2014. – С. 94 – 99. – **0,38 п.л.**

24. Корнилович А.В. Разработка технологии проектирования костюмов для парашютных видов спорта / А.В. Корнилович, В.Е. Кузьмичев // Текстиль, одежда, обувь, средства индивидуальной защиты в XXI веке: материалы V Междунар. науч.-практ. конф. – Шахты: ФГБОУ ВПО «ДГТУ», 2014. – С. 98 – 102. – <http://www.libdb.sssu.ru>. – **0,31 п.л. / 0,26 п.л.**

25. Корнилович, А.В. Экспериментальные исследования подсистемы «крыло костюма для парашютных видов спорта – воздушная среда» с применением технологии FLOWORKS / А.В. Корнилович // Информационная среда вуза: сб. материалов XXI Междунар. науч.-техн. конф. – Иваново: ИВГПУ, 2014. – С. 299 – 301. – **0,19 п.л.**

26. Корнилович, А.В. Разработка теоретической модели натяжения ткани в крыле костюма для парашютных видов спорта / А.В. Корнилович // Инновационные технологии текстильной и легкой промышленности: материалы докладов междунар. науч.-техн. конф. – Республика Беларусь, Витебск: УО «ВГТУ», 2014. – С. 172 – 174. – **0,19 п.л.**

27. Корнилович, А.В. Обоснование состава информационного обеспечения для удаленного адресного проектирования одежды / А.В. Корнилович, А.В. Кузнецова, Н.В. Доронина // Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности (Инновации – 2016): сб. материалов междунар. науч.-техн. конф. – М.: МГУДТ, 2016. – С. 70 – 72. – **0,19 п.л. / 0,15 п.л.**

28. Кузнецова, А.В. Применение новых информационных технологий при удаленном адресном проектировании одежды / А.В. Кузнецова, А.В. Корнилович // Информационная среда вуза: сб. материалов междунар. науч.-техн. конф. – Иваново: ИВГПУ, 2016. – С.183 – 186. – **0,25 п.л. / 0,2 п.л.**

Подписано в печать 30.01.2017.

Формат 1/16 60×84. Плоская печать.

Усл. печ. л. 1,16. Уч.-изд. л. 1,11. Тираж 100 экз. Заказ № 3641

ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет»

Издательский центр ДИВТ

153000 г. Иваново, Шереметевский проспект, 21