

**На правах рукописи**



**Тюрин Игорь Николаевич**

**РАЗРАБОТКА ЦИФРОВОГО АППАРАТА  
ПРОЦЕССА ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОМПРЕССИОННОЙ ОДЕЖДЫ СПОРТИВНОГО  
НАЗНАЧЕНИЯ**

Специальность 05.19.04  
«Технология швейных изделий»

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Москва – 2022

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)» (ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина») на кафедре «Художественное моделирование, конструирование и технология швейных изделий»

**Научный руководитель:** доктор технических наук, профессор кафедры Художественного моделирования, конструирования и технологии швейных изделий, ФГБОУ ВО «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)»  
**Гетманцева Варвара Владимировна**

**Официальные оппоненты:** доктор технических наук, профессор кафедры «Конструирование, технологии и дизайн», Институт сферы обслуживания и предпринимательства (филиал) ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет» в г. Шахты Ростовской области  
**Черунова Ирина Викторовна**

кандидат технических наук, заместитель начальника производства ООО «Крейт», г. Санкт-Петербург  
**Назаревич Мария Сергеевна**

**Ведущая организация:** ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет», г. Иваново

Защита состоится «05» июля 2022 г. в 12.00 ч. на заседании диссертационного совета Д212.144.01, созданного на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)» по адресу: 119071, г. Москва, ул. Малая Калужская ул., д. 1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина» и на официальном сайте университета <https://kosygin-rgu.ru/>

Автореферат разослан « » \_\_\_\_\_ 2022 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета Д 212.144.01

Мезенцева Т.В.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### Актуальность темы исследования

В системе «спортсмен-оболочка-среда» важным звеном является одежда, которая может оказывать различное воздействие на спортивные результаты: от их улучшения до значительного ухудшения, что обуславливает особенную актуальность исследований в области разработки одежды спортивного назначения.

Производство спортивной одежды обладает огромным финансово-экономическим потенциалом развития. На объем рынка, скорость его роста и другие финансово-экономические параметры оказывает непосредственное влияние научно-методическое обеспечение процесса проектирования выпускаемых изделий, так как удовлетворить потребительские требования возможно только при условии обеспечения соответствующих параметров проектируемого изделия.

Удовлетворение потребительских предпочтений возможно в результате улучшения качества выпускаемых изделий. С позиции рассмотрения этапов проектирования изделия, этого можно достичь повышением эргономических характеристик изделий, получаемых в существующем процессе проектирования или надением изделия новым функциональным назначением за счет использования новейших разработок из различных областей науки и техники.

Одним из крупных сегментов рынка спортивной одежды является сегмент компрессионных изделий.

В текущем состоянии процесса проектирования компрессионной спортивной одежды существует ряд проблем для решения которых необходимо более детально изучить антропоморфологические особенности фигуры спортсмена с учетом строения мышечной системы, адаптировать существующие и/или разработать новые способы проектирования разверток компрессионной одежды, учитывающие морфологические особенности тела спортсмена, изменение его размерных признаков в процессе выполнения спортивных упражнений, разработать способы обеспечения соответствия фактических значений уровней давления элементов одежды на участки тела человека значениям, задаваемым при проектировании, а также разработать способ повышения эффективности компрессионных изделий спортивного назначения.

Инновационное развитие процессов проектирования текстиля и одежды, а также непрерывно происходящие социокультурные изменения позволяют сегодня говорить об изделии не только как о технической оболочке тела человека, но и как об объекте, обладающем функциями если не коммуникативного обмена, то, как минимум, обратной связью от потребителя. В ближайшем будущем, одежда спортивного назначения может стать основным объектом внедрения и апробации «умных» функций, регулируя взаимодействие и взаимовлияние элементов «среда» и «спортсмен» в системе «спортсмен-оболочка-среда».

Контактное взаимодействие компрессионных изделий спортивного назначения характеризуется давлением, возникающим в результате воздействия деформируемой эластичной оболочки на тело спортсмена. При этом давление может быть компрессионным и не компрессионным. К компрессионному относят давление более 800 – 1067 Па, позволяющее оказывать воздействие на процессы функционирования организма: кровотока, работы мышц и т.д. Не компрессионное давление (менее указанного диапазона) обеспечивает только функцию плотного облегания для антропометрического соответствия одежды фигуре в статическом и динамическом состоянии.

Методы проектирования изделий спортивного назначения представлены в открытом доступе в виде крайне ограниченного количества патентов и научных статей, а информация, заявляемая производителями, носит декларативный и рекламный характер.

Существует потребность в разработке цифрового аппарата процесса проектирования высокофункциональной компрессионной одежды (ВФКО) спортивного назначения, внедрение которого позволит пополнить материально-техническую базу спорта высших достижений, а также повысить востребованность производимой продукции.

Работа выполнена в 2016–2021 гг. на кафедре Художественного моделирования, конструирования и технологии швейных изделий ФГБОУ ВО «Российский государственный университет имени А. Н. Косыгина».

### **Степень научной разработанности проблемы**

Теоретические и экспериментальные исследования в области построения плотно облегающей одежды изложены в работах П.Л. Чебышева, А.В. Савостицкого, Г.И. Суриковой, Н.Л. Корниловой, Е.Г. Андреевой, Г.П. Старковой, В.Е. Кузьмичева, А.В. Новиковой, И.А. Шеромовой, И.В. Тисленко, Чэн Чжэ, М.С. Назаревич, J.McCartney, В.К. Hinds, С.Л. Wang, S. Parmar, С.С.Л. Wang, W. Wardiningsih, S. Olivera, L. Macintyre, E. Ashayeri, S.F. Ng, O. Troynikov и основаны на геометрических и физических моделях текстильных материалов, позволяющих рассчитывать необходимые для проектирования изделий отрицательные конструктивные прибавки (величины заужения). Вместе с тем, данные исследования не учитывали специфику эксплуатации проектируемых изделий в реальных условиях, в частности в процессе спортивной деятельности.

**Целью диссертационной работы** является разработка цифрового аппарата процесса проектирования компрессионной одежды спортивного назначения, необходимого для значительного улучшения качества производимых изделий и обеспечивающего повышение результативности спортсменов профессионального уровня подготовки, как в тренировочном процессе, так и в соревновательный период.

В качестве **объекта исследования** выбран процесс проектирования и изготовления компрессионной спортивной одежды.

Для достижения поставленной цели в работе решены следующие **задачи**:

- проведен анализ существующего ассортимента, методов проектирования, изготовления и способов исследования эффективности плотнооблегающей и компрессионной одежды спортивного назначения;
- предложена концепция проектирования высокофункциональной компрессионной одежды спортивного назначения на основе анализа текущего состояния процесса проектирования, определяющая основные направления исследований и оптимальные способы совершенствования процесса проектирования;
- проведены экспериментальные исследования компрессионного воздействия трикотажных оболочек на тело спортсмена, изучены возможности использования закона Лапласа в процессе проектирования высокофункциональной компрессионной одежды;
- разработана экспресс-модель прогнозирования компрессионного давления на основе энергетического принципа, предназначенная для непосредственного использования при проектировании новых моделей одежды на промышленных предприятиях;
- разработана математическая модель компрессионного воздействия трикотажной оболочки на тело человека на основе численных методов, обладающая высокой степенью достоверности получаемых данных;
- разработаны компьютерный код и программа на основе математической модели компрессионного воздействия для проведения вычислительных экспериментов в системе «компрессионная оболочка – тело человека»;
- проведено исследование растяжимости высокоэластичных трикотажных полотен, трикотажных компрессионных оболочек гетерогенных структур со свойствами гибридной эластичности в условиях максимально приближенных к процессу их деформирования при эксплуатации одежды;
- сформирована база трехмерных моделей фигур спортсменов с повышенным уровнем развития мышечной системы, которая, кроме непосредственного использования для получения «облака» показателей кривизны поверхности тела спортсменов, может использоваться для проведения антропометрических исследований, проектирования изделий в виртуальной среде, а также в научных исследованиях;
- проведено исследование кривизны поверхности тела спортсмена на основе полученных с помощью трехмерного сканирования поперечных и продольных сечений сканов фигур;

- разработан способ расчета натяжений трикотажных полотен, необходимый для обеспечения однородности компрессионных свойств на соответствующих участках тела спортсмена;

- изучены механизмы работы мышечной системы и предложены способы повышения ее эффективности за счет обеспечения зонально-распределенного компрессионного давления;

- разработан способ конструирования разверток одношовного втачного рукава, предназначенный для проектирования трикотажных изделий спортивного назначения с высоким антропометрическим соответствием фигуре;

- разработана система измерения мышечной активности спортсмена, предназначенная для проведения биомеханических исследований;

- проведено численное моделирование давления компрессионных трикотажных оболочек с зонами гибридной эластичности в качестве апробации способа проектирования гетерогенных компрессионных изделий спортивного назначения;

- проведена промышленная апробация процесса проектирования гетерогенных компрессионных оболочек спортивного назначения.

#### **Методы и средства исследования**

В работе использовались методы системного подхода к процессам антропометрических измерений фигур, проектированию одежды с обеспечением их статического и динамического соответствия, методы секущих плоскостей, аппроксимации эмпирических зависимостей, корреляционного и регрессионного анализа, методы дифференциального и интегрального исчисления.

В работе использовались ПО Statistica 13, Adobe Photoshop 7.0, Microsoft Excel, ReconstructMe, Kinect SDK 1.8, Ansys 18.1, Space Claim Direct Modeler, SPC Statistic Tool, Matlab, Muscle&Motion, OpenSIM, Statistica, Arduino IDE, Clo3D, САПР Grafis, САПР Gerber Accumark, Fusion 360, Python 3.9. И следующее оборудование: 3d сканеры Kinect 360, Artec Eva, разрывная машина Instron, цифровой мультиметр, лабораторный блок питания, сенсор мышечной активности MyoWare, сенсор давления Interlink Electronics, 3D принтер Creality 3D, термопресс Grafalex.

#### **Научная новизна исследования:**

- разработана модель прогнозирования компрессионного давления на основе энергетического принципа, предназначенная для проведения экспресс-анализа уровней компрессионного воздействия на стадии проектирования разверток компрессионной одежды;

- разработан способ обеспечения однородности компрессионных свойств трикотажных оболочек спортивного назначения за счет введения зон гибридной эластичности;

- разработана структура процесса прогнозирования компрессионного давления одежды на тело человека, включающая взаимосвязь данных деформационных характеристик мягких тканей и показателей кривизны поверхности тела спортсмена;

- разработана концепция проектирования компрессионной одежды спортивного назначения с функцией повышения мышечной активности, основанной на зонировании компрессионного воздействия трикотажной оболочки на тело спортсмена.

#### **Практическая значимость работы заключается в:**

- разработке базы трехмерных моделей фигур спортсменов с повышенным уровнем развития мышечной системы;

- разработке базы данных показателей кривизны поверхности тела спортсмена с повышенным уровнем развития мышечной системы;

- разработке способа конструирования разверток втачного рукава для проектирования плотнооблегающей и компрессионной одежды спортивного назначения;

- разработке способа проектирования гетерогенных компрессионных оболочек спортивного назначения с зонами гибридной эластичности.

**Достоверность** научных положений, выводов и рекомендаций, сформированных в диссертации, подтверждается согласованностью результатов теоретических и экспериментальных исследований, современными методами их решения, использованием

известных положений фундаментальных наук и результатами промышленной апробации разработанных методик.

**Апробация результатов работы.** Практическая значимость работы подтверждена результатами ее промышленных испытаний и внедрения в условиях ООО «Интертекстиль корп.».

Теоретические положения, практические рекомендации и выводы были представлены и обсуждены в 2016-2022 гг. на международных и всероссийских научных конференциях: 18th World Textile Conference «Autex 2018: Leading Edge Technologies and Trends in Textiles» (Istanbul Technical University, Turkey, 2018), «19th World Textile Conference - Autex 2019» (Ghent University, Belgium 2019), «20th World Textile Conference - Autex 2020» (Minho University, Portugal, 2021), «Инновационные технологии в текстильной и легкой промышленности» (Витебск, ВГТУ, 2018), Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности (Инновации-2016, Москва), «Дизайн и искусство - стратегия проектной культуры XXI века» (РГУ им. А.Н. Косыгина, Москва, 2016-2019) и других.

**Публикации.** Основные положения и результаты научного исследования изложены в 12 публикациях, в том числе 3 работы опубликовано в изданиях, входящих в перечень, определенный ВАК Минобрнауки, а также базы Scopus и Web of Science.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, выводов по главам и работе в целом, библиографического списка, включающего 170 наименований, 10 приложений, содержит 28 таблиц и 74 рисунков. Объем работы составляет 155 страниц текста без учета приложений. Приложения представлены на 197 страницах и содержат результаты экспериментальных исследований, заключения учебных и промышленных организаций.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Первая глава** посвящена анализу текущего состояния процесса проектирования компрессионной одежды спортивного назначения (КОСН). По итогам проведенного анализа разработана обобщенная структура процесса прогнозирования компрессионного давления одежды на тело человека (Рис.1), которую предложено дополнить базами данных, включающими данные о деформационных характеристиках мягких тканей спортсмена и показателях кривизны поверхности его тела.

**Вторая глава** посвящена разработке информационного обеспечения процесса проектирования гетерогенных трикотажных оболочек спортивного назначения с однородностью распределения компрессионного давления.

Схема проведения теоретических и экспериментальных исследований компрессионного давления, позволяющих получить новую модель распределения однородного давления компрессионной одежды на тело спортсмена (Рис.2), предусматривает измерение давления *in-vivo* с помощью сенсора давления, оценку достоверности данных, полученных согласно закону Лапласа, получение распределения давления согласно равенству энергий, выделяющихся при растяжении эластичной трикотажной оболочки и сжатии тела спортсмена, оценку адекватности экспресс-модели прогнозирования КД.

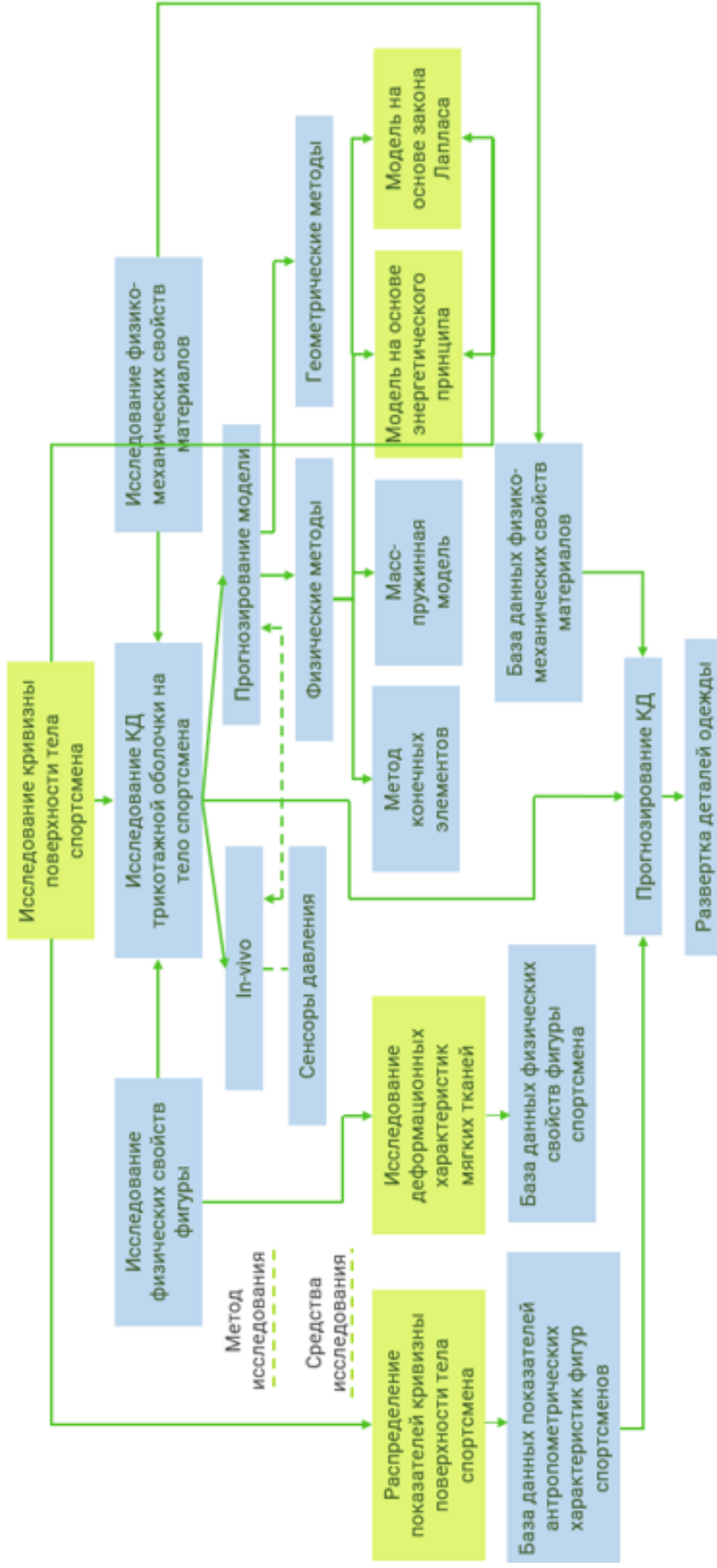


Рисунок 1 – Структура процесса прогнозирования компрессионного давления одежды на тело человека

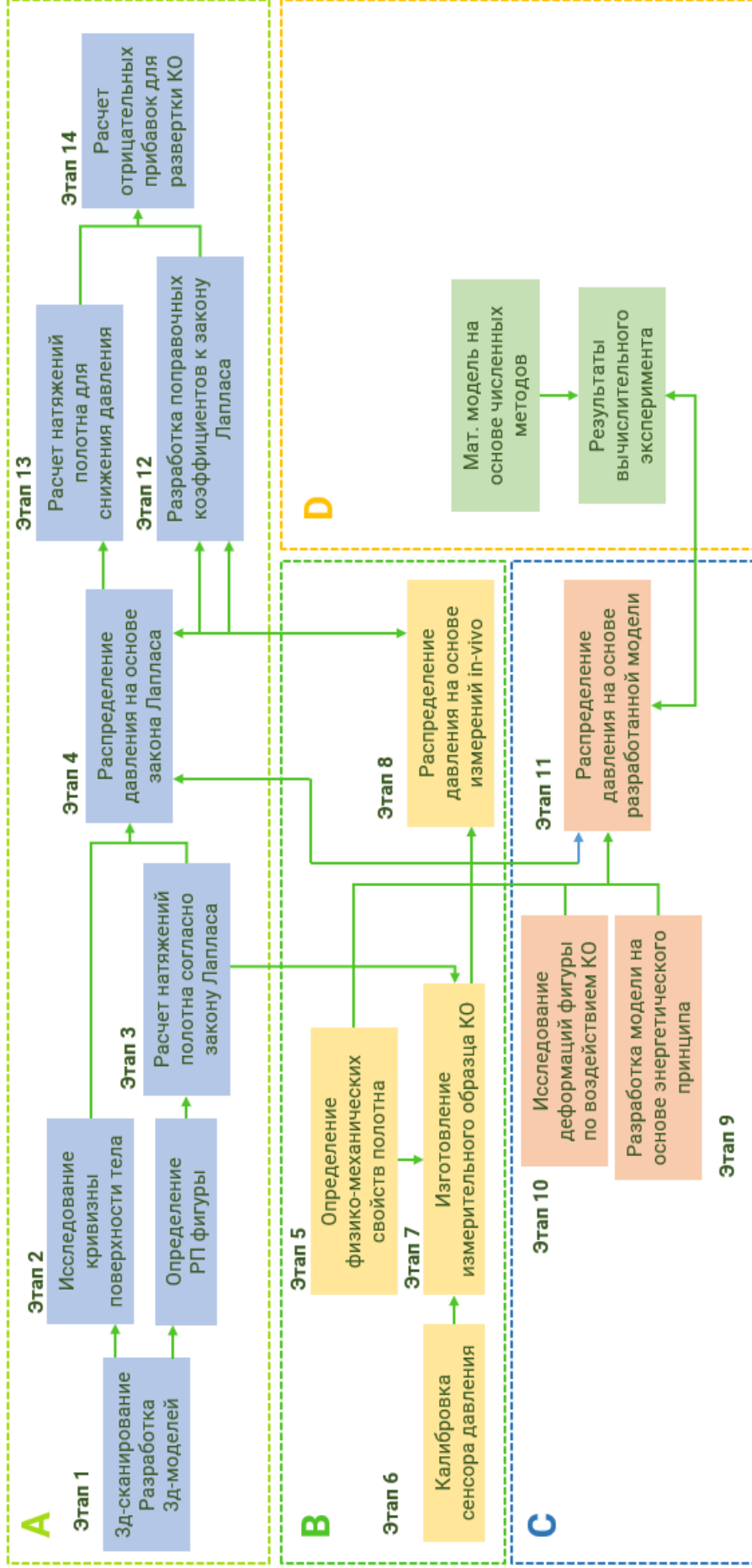
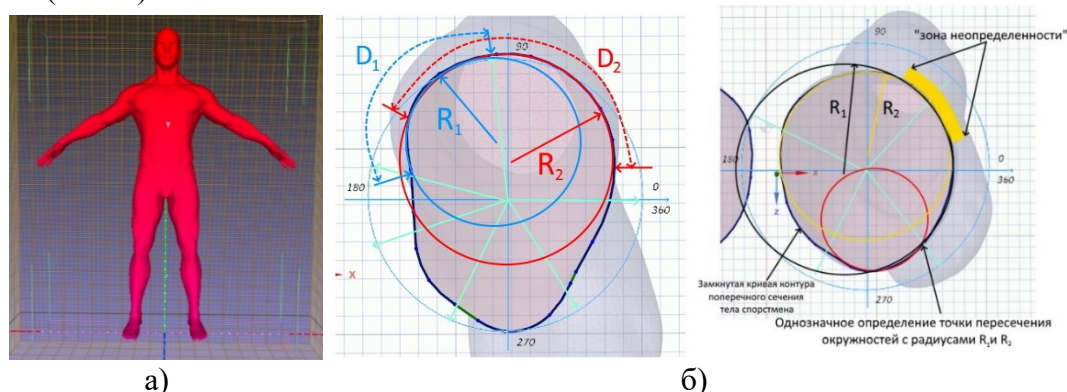


Рисунок 2 – Схема планирования эксперимента

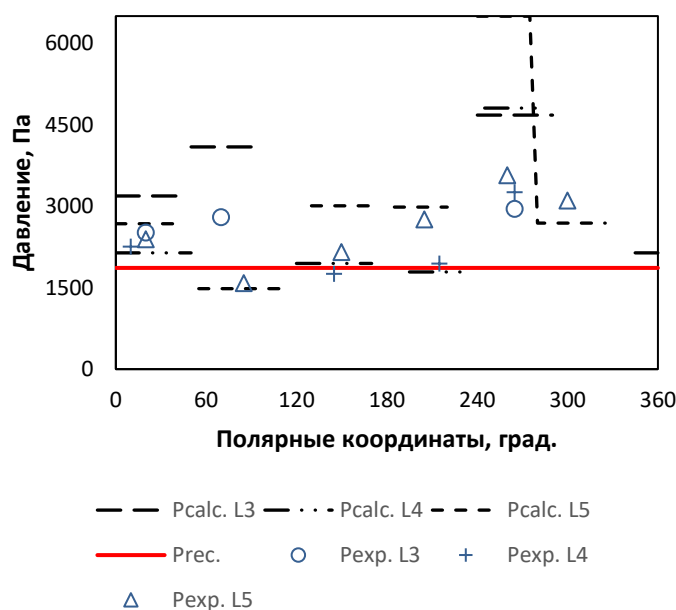


По итогам проведенного боди-сканирования 34 фигур спортсменов профессионального уровня подготовки, получено топографическое распределение кривизны поверхности тела спортсмена (Рис. 3).



**Рисунок 3 – Схема измерения радиусов кривизны поперечного сечения тела человека: а) 3d-модель фигуры спортсмена; б) схема измерения кривизны контуров поперечных сечений**

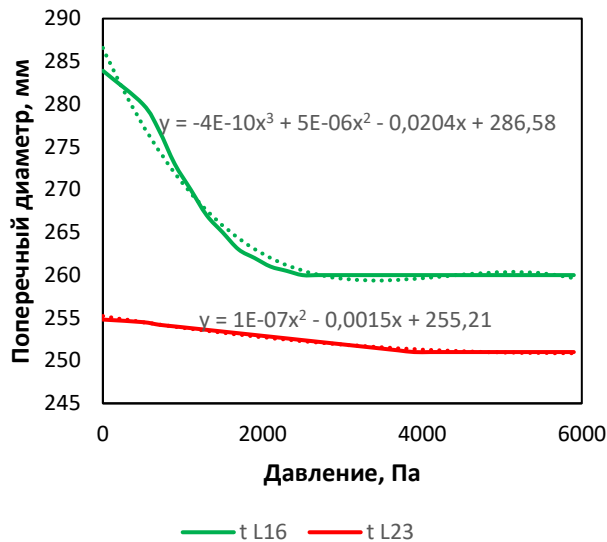
В результате проведения серии экспериментальных исследований КД одежды на тело спортсмена установлено превышение расчетных значений давлений согласно закону Лапласа над данными, полученными по методу in-vivo (с помощью сенсора давления), в пределах 25 – 40 % (Рис. 4). По причине низкой точности способов измерения давления с помощью сенсоров давления поставлена и выполнена задача разработки экспресс-метода прогнозирования давления на основе методов математического моделирования.



**Рисунок 4 – Давление КО на тело спортсмена согласно закону Лапласа и полученные in-vivo для уровней L3 - L5**

Разработанный экспресс-метод прогнозирования компрессионного давления предназначен для непосредственного использования на промышленных предприятиях. В основе метода лежит математическая модель, характеризующаяся простотой и быстротой расчетов. Модель основана на энергетическом принципе и учитывает взаимовлияние деформаций мягких тканей тела спортсмена и физико-механические характеристики компрессионных материалов.

В результате проведенного исследования деформационных характеристик мягких тканей тела спортсмена установлено распределение деформаций поперечных диаметров в зависимости от величины прикладываемого компрессионного давления (Рис.5).



**Рисунок 5 – Деформации поперечных диаметров поверхности тела спортсмена при воздействии компрессионного давления**

По итогам сравнения результатов, полученных с использованием разработанного экспресс-метода и результатов, полученных расчетным путем с помощью закона Лапласа, установлено статистически достоверное превышение значений давления, полученных согласно закону Лапласа, в пределах 30% в среднем.

Разработана математическая модель, компрессионного воздействия трикотажной оболочки на тело человека на основе численных методов и программное обеспечение на ее основе, обладающие высокой степенью достоверности получаемых данных при проведении вычислительных экспериментов в системе «компрессионная оболочка – тело человека».

Для решения системы дифференциальных уравнений, описывающих компрессионное воздействие трикотажной оболочки на трехмерное упругое тело (человека) разработано ПО на основе Python 3.9.

По итогам анализа данных, полученных по трем представленным методам, установлена возможность использования закона Лапласа в процессе проектирования компрессионной одежды спортивного назначения при использовании поправочных коэффициентов, учитывающих деформационные характеристики мягких тканей спортсмена и приборную погрешность сенсоров давления.

Разработан способ определения относительных отрицательных конструктивных прибавок, использование которого позволяет обеспечить распределение постоянного по величине рекомендованного давления по периметру поперечных сечений поверхности тела спортсмена.

Разработана методика получения поправочных коэффициентов (ПК) к закону Лапласа, предназначенная для расчета параметров конструкции разверток компрессионных оболочек спортивного назначения со свойствами гибридной эластичности.

Разработана обобщенная схема процесса проектирования гетерогенных компрессионных оболочек спортивного назначения со свойствами гибридной эластичности (Рис.6), иллюстрирующая два способа проектирования изделий. Особенностью процесса проектирования является использование цифровых «облаков» данных, состоящих из баз данных радиусов кривизны поверхности тела человека, значений компрессионного давления, поправочных коэффициентов к закону Лапласа, натяжений и относительных растяжений трикотажного полотна.

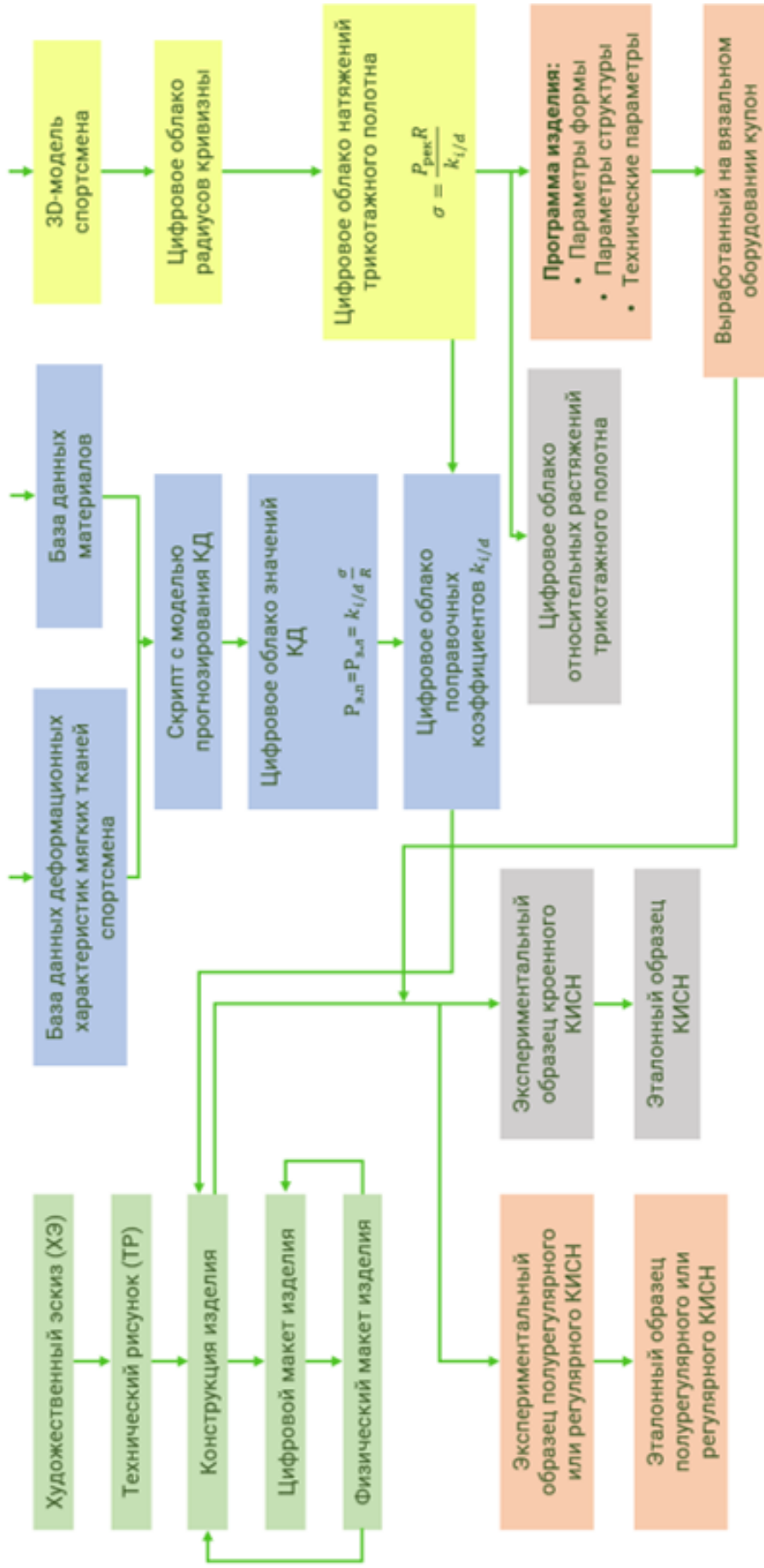


Рисунок 6 - Обобщенная схема процесса проектирования гетерогенных компрессионных оболочек спортивного назначения со свойствами гибридной эластичности



С позиции биомеханического описания и формирования исходных конструкторских данных наиболее сложной является подмышечная область, которая является местом расположения нижних частей узла «пройма – рукав». Поэтому разработан способ конструирования развертки одношовного втачного рукава плотнооблегающих и компрессионных изделий спортивного назначения.

Для оценки пригодности использования разработанного способа проведен сравнительный анализ конструкций, полученных по альтернативным методикам. Оценка посадки изделий, полученных на основе разработанных конструкций, производилась по 5 вариантам: основным конструктивным параметрам (высота оката, длина оката и длина проймы, ширина рукава на уровне обхвата плеча) (Табл. 1), карте напряженности, карте деформаций, оценке внешнего соответствия изделия с помощью метода экспертных оценок, количеству шагов алгоритма корректировки конструкции.

Результаты комплексного анализа посадки изделия по 5 вариантам показали, что лучшей посадкой обладают изделия, конструкции которых построены по методике Мюллер и сын и разработанному способу и могут быть рекомендованы к использованию в процессе проектирования.

По причине отсутствия исследований изменчивости размерных признаков в области подмышечной впадины, проведена серия антроподинамических исследований спортсмена. В результате получены зависимости продольных дуговых измерений рук от угла отведения руки в сторону, подъема руки в плечевом суставе и установлены максимальные величины изменений размерных признаков, полученных при максимальной амплитуде движений рук.

**Таблица 1** – Анализ основных параметров исследуемых конструкций втачного рукава

№ п/п	Методика	Исходная БК				Модифицированная БК				Изменение параметров, %			
		<i>Дпр</i>	<i>Док</i>	<i>Вок</i>	<i>Шр</i>	<i>Дпр</i>	<i>Док</i>	<i>Вок</i>	<i>Шр</i>	<i>Дпр</i>	<i>Док</i>	<i>Вок</i>	<i>Шр</i>
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	ЕМКО СЭВ	491	489	142	374	536	542	169	367	9.2	10.8	19.0	-1.9
2	ЦОТШЛ	522	525	172	367	526	516	154	367	0.8	-1.7	-10.5	0
3	Рослякова	474	549	145	437	499	512	149	367	5.3	-6.7	2.8	-16.0
4	Алдрич	446	454	114	370	531	530	176	367	19.1	16.7	54.4	-0.8
5	Мюллер и сын	496	484	15	358	515	514	165	367	3.8	6.2	8.6	2.5,
6	ВДМТИ	495	505	146	380	525	524	172	368	6.1	3.8	17.8	-3.2
7	Предлагаемая	493	495	94	387	516	517	125	370	4.6	4.4	33.0	-4.4

Разработан способ обеспечения антроподинамического соответствия изделий. Предложено использовать в боковых частях переда и спинки, а также в области бокового среза рукава, детали, изготовленные из высокоэластичных полотен 3 группы растяжимости с заданными показателями растяжения, с целью компенсации величин динамических эффектов.

В четвертой главе проведена апробация разработанного цифрового аппарата процесса проектирования компрессионной одежды спортивного назначения. В качестве апробации способа проектирования гетерогенных компрессионных оболочек с однородностью распределения давления, проведен вычислительный эксперимент, заключающийся в моделировании ситуации сжатия эластичного объекта с зонами различной кривизны, имитирующего тело спортсмена, компрессионной оболочкой с зонами гибридной эластичности.

В качестве образца экспериментальной модели разработано информационное

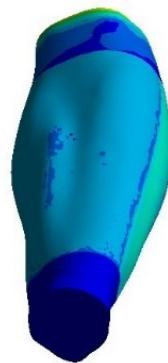
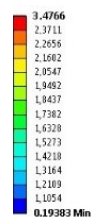
обеспечение конструкции (Табл. 2), конструкция изделия и на их основе цифровая модель гетерогенной компрессионной оболочки от уровня щиколотки до уровня коленей (не включая). Установлены два уровня компрессионного давления: 2399 Па для уровня щиколотки, 1867 Па для уровня голени. Основные критерии оптимизации базы исходных данных выбраны исходя из базовых принципов изготовления трикотажных изделий.

На основе разработанной конструкции, с использованием трехмерной модели голени спортсмена, разработана трехмерная модель системы «голень-компрессионная оболочка». Произведена оптимизация топологии и построение конечно-элементной сетки, заданы граничные и начальные условия. Результаты проведенного численного моделирования показаны на Рис. 8 в виде карты распределения компрессионного давления.

**Таблица 2 – Оптимизированная база параметров проектирования гетерогенных компрессионных изделий спортивного назначения**

№ п/п	№ п/с	Размерные признаки, мм	Напряжение полотна, Н/м						Отрицательные конструктивные прибавки, мм												
			$\sigma_1^i$	$\sigma_2^i$	$\sigma_3^i$	$\sigma_4^i$	$\sigma_5^i$	$\sigma_6^i$	$\Pi_1^i$	$\Pi_2^i$	$\Pi_3^i$	$\Pi_4^i$	$\Pi_5^i$	$\Pi_6^i$							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15							
1	$L_j^1$	226	->69		95	129	69->		->50			27	->50								
2	$L_j^2$	236	186	126		76		57			10										
3	$L_j^3$	325	->61		99	61->		11		20		10									
4	$L_j^4$	393	160			64		127			36										
5	$L_j^5$	441	->144		261	129		59		144->			->168								
6	$L_j^6$	410	->105		136		62		105->			155									
№ п/п	№ п/с	Процентное распределение обхвата по участкам $\delta$ , %						Относительные отрицательные конструктивные прибавки, %						Основные параметры для гомогенных зон гетерогенного КИ							
		$L_1^i$	$L_2^i$	$L_3^i$	$L_4^i$	$L_5^i$	$L_6^i$	$\Delta\Pi_1^i$	$\Delta\Pi_2^i$	$\Delta\Pi_3^i$	$\Delta\Pi_4^i$	$\Delta\Pi_5^i$	$\Delta\Pi_6^i$	$\sigma$ , Н/м	$\delta$ , %	$\varepsilon$ , %	$\Delta\Pi$ , %	$\Pi$ , мм			
16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34			
7	$L_j^1$	->65			25	65->		->34			47	34->		86		10	164	39	9		
8	$L_j^2$	50			15		48			31		90			35	167	40	33			
9	$L_j^3$	10	15	15	35			42	20		96			60	170	41	80				
10	$L_j^4$	65			30		50			31		117			5	182	45	9			
11	$L_j^5$	->75				10	75->		->51			29		51->		131		15	190	47	31
12	$L_j^6$	100						38						122		0	185	46	-		

C: Static Structural  
Equivalent Stress  
Type: Equivalent (von-Mises) Stress  
Unit: kPa  
Time: 1  
18.06.2021 15:41



**Рисунок 8 – Результаты вычислительного эксперимента модели «голень-гетерогенная компрессионная оболочка спортивного назначения»**

Анализ результатов вычислительного эксперимента свидетельствует о достижении однородности КД в пределах погрешности, допустимой по итогам проведенных в Главе 2 экспериментов.

По итогам промышленной апробации разработанного способа, изготовлены опытные образцы гетерогенных КИСН. В качестве способа изготовления выбрано изготовление на кругловязальном оборудовании. Измерения компрессионного воздействия разработанных образцов на тело человека получены 2 способами: (измерением «абсолютного» давления на модели ноги из дерева (использовано оборудование MST Salzmann) и измерением на испытуемых (5 чел.). Анализ полученных данных свидетельствует о соответствии данных вычислительного моделирования и данных, полученных на испытуемых.

По итогам проведенной апробации основных положений диссертационного исследования, установлено наличие целостной и последовательной структуры процесса проектирования компрессионной одежды спортивного назначения, позволяющей получить изделия с соответствием параметров, заданных при проектировании и обладающих новым функциональным назначением.

## **ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ**

1. Разработана классификация ассортимента компрессионной одежды спортивного назначения, позволяющая произвести экспресс-оценку возможного ассортимента проектируемых изделий.

2. По итогам анализа данных, полученных в результате теоретических и экспериментальных исследований давления КОСН на тело спортсмена, установлена целесообразность использования закона Лапласа в процессе проектирования компрессионной одежды спортивного назначения, при использовании поправочных коэффициентов, учитывающих деформационные характеристики мягких тканей спортсмена и приборную погрешность сенсоров давления.

3. Разработана экспресс-модель прогнозирования компрессионного давления трикотажной оболочки на тело спортсмена, учитывающая взаимосвязь показателей деформационных характеристик мягких тканей спортсмена и показателей физико-механических свойств трикотажных полотен с компрессионными свойствами.

4. Разработана методика получения поправочных коэффициентов к закону Лапласа, предназначенная для расчета параметров конструкции разверток компрессионных оболочек спортивного назначения со свойствами гибридной эластичности, позволяющих достичь однородности распределения КД по поверхности тела спортсмена.

5. Разработаны высокоточные модели прогнозирования компрессионного воздействия трикотажной оболочки на тело человека, характерной особенностью которых является возможность варьирования свойствами и типом материалов, геометрией и формой, граничными и начальными условиями, а также калибровочными параметрами, которые могут быть настроены в соответствии с требованиями модели.

6. Результаты проведенного численного моделирования компрессионного давления гетерогенной компрессионной оболочки с зонами гибридной эластичности свидетельствуют об обеспечении однородности распределения давления по периметру соответствующих антропометрических уровней тела спортсмена.

7. Разработан способ обеспечения однородности распределения компрессионного давления в областях тела, соответствующих рекомендованным антропометрическим уровням, позволяющий проектировать гетерогенные трикотажные оболочки.

8. По результатам проведенного биомеханического анализа тренировочной деятельности спортсмена разработана база биомеханической информации, включающая в себя наборы мышц – двигателей, мышц – синергистов (стабилизаторов), суставов, участвующих в совершении определенных физических упражнений. Полученная информация предназначена для использования в качестве исходной при проведении биомеханических исследований с целью

оценки антропометрического соответствия, при проектировании высокофункциональной одежды, измеряющей биометрические показатели организма человека и позволяющей оценивать его витальные функции.

9. Разработан способ конструирования развертки одношовного рукава плотнооблегающих и компрессионных изделий спортивного назначения, основанный на использовании в совокупности с существующим перечнем размерных признаков, перечня дополнительных размерных признаков, учитывающих антропоморфологические особенности строения тела спортсмена.

10. Доказана эффективность способа конструирования развертки одношовного втачного рукава при разработке плотнооблегающих и компрессионных изделий по результатам сравнительного анализа посадки плотнооблегающих изделий в виртуальной среде, конструкции которых построены с использованием существующих методик построения плечевого изделия с втачным рукавом.

Проектирование высокофункциональных КИ, позволяющих повысить мышечную активность, открывает широкие возможности в области проектирования «умной» одежды, способной вступать в коммуникационную связь с физиологическими характеристиками человека, а также свойством оказывать (взаимо-) влияние на физиологическое, психофизиологическое, физическое, психофизическое и психологическое состояние организма человека.



## ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ НАУЧНО-КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ (ДИССЕРТАЦИИ)

Статьи в изданиях, входящих в «Перечень рецензируемых научных изданий» ВАК при Минобрнауки России:

1. Белгородский В.С., Тюрин И.Н., Гетманцева В.В., Андреева Е.Г. Разработка требований к одежде для спортивных тренировок с различными видами нагрузок // Дизайн и технологии. 2018. № 64 (106). С. 48-54.
2. Tyurin I.N., Getmantseva V.V., Andreeva E.G. Analysis of innovative technologies of thermoregulating textile materials//Fibre Chemistry. 2018. Т. 50, № 1. С. 1-9.
3. Тюрин И.Н., Гетманцева В.В., Андреева Е.Г., Белгородский В.С. О влиянии компрессионных изделий спортивного назначения на организм человека // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2018. №6 (367) с. 131 – 141.

Статьи в прочих изданиях:

4. Тюрин И.Н., Гетманцева В.В. Анализ инноваций в области разработки текстильных волокон для производства спортивной одежды//Точная наука. 2016. № 2 (2). С. 8-11.
5. Тюрин И.Н., Гетманцева В.В. Анализ особенностей конструктивного решения спортивной одежды//Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности (Инновации-2016). 2016. С. 242-245.
6. Тюрин И.Н., Гетманцева В.В., Андреева Е.Г. Определение приоритетности проектных требований к плотнооблегающей спортивной одежде // В сборнике: Инновационные технологии в текстильной и легкой промышленности Витебск, 2018. С. 324-327.
7. Тюрин И.Н. Проектирование высокофункциональной одежды // В сборнике: Всероссийская научно-практическая конференция "ДИСК-2018" Сборник материалов. 2018. С. 85-87.
8. Тюрин И.Н. Методы оценки комфортности спортивной одежды // В сборнике: Всероссийская научно-практическая конференция "ДИСК-2018" Сборник материалов. 2018. С. 80-82.
9. Tyurin I.N., Getmantseva V.V., Andreeva E.G. The impact of compression garments on the change of creatine kinase and lactate dehydrogenase levels in the athletes body during aerobic training // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2019. Т. 10. № 1. С. 676-684.
10. Тюрин И.Н., Гетманцева В.В. Исследование кривизны поверхности тела спортсмена для проектирования плотнооблегающей одежды // В сборнике: Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности (ИННОВАЦИИ-2018). 2018. С. 236-239.
11. Тюрин И.Н., Гетманцева В.В., Андреева Е.Г. Исследование ароматической отделки текстильных материалов для проектирования спортивных изделий на их основе // Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (SMARTEX). 2018. № 1-1. С. 232-236.

Монографии:

12. Гетманцева В.В., Тюрин И.Н., Андреева Е.Г., Белгородский В.С. Инновационные технологии изготовления «умной одежды» повышенной функциональности. Монография / Москва, 2020.

**ТЮРИН Игорь Николаевич**

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени кандидата  
технических наук

**РАЗРАБОТКА ЦИФРОВОГО АППАРАТА  
ПРОЦЕССА ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОМПРЕССИОННОЙ ОДЕЖДЫ СПОРТИВНОГО  
НАЗНАЧЕНИЯ**

Усл.-печ. 1,0 п.л. Тираж 80 экз. Заказ № \_\_\_\_\_

**Редакционно-издательский отдел ФГБОУ ВО**

**«РГУ им. А.Н. Косыгина»**

**117997, г. Москва, ул. Садовническая, д.33, стр.1**

**Отпечатано в РИО ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина»**