

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина
(Технологии. Дизайн. Искусство)»
(ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина»)

На правах рукописи



ТЮРИН Игорь Николаевич

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

Специальность 05.19.04 – Технология швейных изделий

ДИССЕРТАЦИЯ
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
д.т.н., доц. Гетманцева В.В.

Москва – 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ГЛАВА 1. АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ПРОЦЕССА ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОМПРЕССИОННОЙ ОДЕЖДЫ СПОРТИВНОГО НАЗНАЧЕНИЯ.....	12
1.1 Текущее состояние процесса проектирования компрессионной одежды спортивного назначения	12
1.2 Разработка концепции совершенствования процесса проектирования компрессионной одежды спортивного назначения.....	26
Выводы по главе	39
ГЛАВА 2. ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГЕТЕРОГЕННЫХ ТРИКОТАЖНЫХ ОБОЛОЧЕК СПОРТИВНОГО НАЗНАЧЕНИЯ С ОДНОРОДНОСТЬЮ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КОМПРЕССИОННОГО ДАВЛЕНИЯ	40
2.1 Экспериментальное исследование дифференцированного распределения компрессионного давления.....	41
2.2 Разработка экспресс-метода прогнозирования компрессионного давления	55
2.3 Численное моделирование давления компрессионной оболочки спортивного назначения	61
2.4 Проектирование гетерогенных компрессионных оболочек со свойствами гибридной эластичности	70
Выводы по главе	75
ГЛАВА 3. ФОРМИРОВАНИЕ ВХОДНОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ПРОЦЕССА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВЫСОКОФУНКЦИОНАЛЬНОЙ КОМПРЕССИОННОЙ ОДЕЖДЫ СПОРТИВНОГО НАЗНАЧЕНИЯ	77
3.1 Биомеханический анализ спортсмена для определения антропоморфологических и антроподинамических особенностей фигуры	78
3.2 Разработка системы измерения мышечной активности.....	86
3.3 Разработка разверток компрессионной и плотно облегающей одежды спортивного назначения	94
3.4 Оценка посадки разработанных конструкций в статике с использованием виртуальной среды.....	98
3.5 Оценка антроподинамического соответствия исследуемых конструкций	104
Выводы по главе	118
ГЛАВА 4. АПРОБАЦИЯ ПРОЦЕССА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВЫСОКОФУНКЦИОНАЛЬНОЙ КОМПРЕССИОННОЙ ОДЕЖДЫ СПОРТИВНОГО НАЗНАЧЕНИЯ	119
4.1 Численное моделирование давления в системе «гетерогенная компрессионная оболочка – тело спортсмена»	119

4.2 Обобщенная схема процесса проектирования высокофункциональной компрессионной одежды спортивного назначения	127
Выводы по главе	137
Основные выводы по работе	139
Список сокращений и условных обозначений.....	141
Список литературы.....	143
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	156
ПРИЛОЖЕНИЕ Б	162
ПРИЛОЖЕНИЕ В.....	163
ПРИЛОЖЕНИЕ Г	251
ПРИЛОЖЕНИЕ Д.....	255
ПРИЛОЖЕНИЕ Е	273
ПРИЛОЖЕНИЕ Ж.....	281
ПРИЛОЖЕНИЕ З.....	302
ПРИЛОЖЕНИЕ И.....	305
ПРИЛОЖЕНИЕ К.....	344

ВВЕДЕНИЕ

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 наделением 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 облегаания 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, B.K. Hinds, C.L. Wang, S. Parmar, C.C.L. 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.

В работах *И.В. Тисленко* разработана система виртуального моделирования напряжений растяжений и сдвига, возникающие в высокоэластичных текстильных материалах при приложении компрессионного давления. Как показано в работах *И.В. Тисленко*, по периметру поперечных сечений возникает дифференцированное распределение давления. Ранее установлено, что компрессионное давление прямо пропорционально напряжению, возникающему в деформируемом текстильном материале, и обратно пропорционально радиусу кривизны поверхности. Фигуры атлетического телосложения при этом обладают поверхностью сложной кривизны, что формирует еще большую дифференциацию давления, значительно отличающуюся от рекомендованных величин давления и оказывающую отрицательное воздействие на организм спортсмена. Необходимо разработать модель распределения постоянного компрессионного давления по поверхности тела спортсмена, применение которой в процессе проектирования высокофункциональной компрессионной одежды позволит разработать компрессионные оболочки спортивного назначения, обладающие гетерогенностью физико-механических свойств, что позволит нивелировать негативное воздействие компрессионной одежды на организм спортсмена.

Проектированию спортивной одежды, а также одежды для фигур атлетического телосложения посвящены работы *Г.П. Старковой, Н.Г. Москаленко, Н.В. Дорониной*. В работе *Н.Г. Москаленко* разработано методическое, научно-техническое обеспечение процесса проектирования спортивной одежды для альпинистов. В работах *Г.П. Старковой* сформированы методологические основы проектирования спортивной одежды из высокоэластичных материалов. *Н.В. Доронина* разработала классификацию мужских фигур с развитой мышечной массой, а также методику построения брюк, гарантирующую качественную посадку на потребителе. При этом объектом исследования выбрана подкорпусная часть фигуры атлетов, занимающихся бодибилдингом. Для целей проектирования компрессионной спортивной одежды необходимо более детально исследовать фигуры атлетического телосложения, предложить новые, инновационные пути развития процесса проектирования плотно облегающей и компрессионной спортивной одежды.

Диссертационная работа соответствует следующим пунктам паспорта ВАК научной специальности 05.19.04 – Технология швейных изделий:

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.

5 – Совершенствование методов оценки качества и проектирование одежды с заданными потребительскими и технико-экономическими показателями.

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,

Mathlab, 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 Crealty 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:

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): сб. материалов междунар. науч.-техн. конф, 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) Сборник материалов Международной научно-технической конференции. 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.

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.

«Наука — самое надежное руководство для цивилизации, для жизни, для успеха в мире».

Ататюрк

ГЛАВА 1. АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ПРОЦЕССА ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОМПРЕССИОННОЙ ОДЕЖДЫ СПОРТИВНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

1.1 ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ ПРОЦЕССА ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОМПРЕССИОННОЙ ОДЕЖДЫ СПОРТИВНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Преимуществом компрессионной одежды является её существенное влияние на физическое, физиологическое и психологическое состояние человека [1,2], что и предопределяет актуальность ее применения в спортивной деятельности. Известна эффективность применения компрессионной одежды в различных видах спорта, в том числе в велоспорте [3], футболе [4], регби [5], в американском футболе [6], в тяжелой атлетике [7], во время спринтерского бега [8,9] и прыжков в высоту [10,11], бега на различные дистанции [12,13] и плиометрических тренировках [14].

1.1.1 Методы оценки влияния компрессионной одежды на организм человека

Использование эффекта компрессии в одежде базируется на изучении проблемы зонирования эластичных материалов в конструкции одежды в зависимости от степени необходимого воздействия на поверхность тела человека [15,16].

Влияние компрессионной одежды на работоспособность спортсменов остается недостаточно изученным, что затрудняет подбор наиболее подходящего ассортимента изделий как для людей разного телосложения и спортивной квалификации, так и для различных видов, продолжительности и интенсивности физической нагрузки.

Можно отметить эргогенный эффект компрессионной одежды, ставшей инструментом улучшения результативности спортсменов и ускорения восстановления их мышечной работоспособности. Благодаря этому спортсмены используют компрессионные изделия как в процессе, так и после интенсивных физических нагрузок.

Согласно результатам зарубежных исследований, можно говорить о незначительности влияния компрессионной одежды на сердечно-сосудистую систему человека независимо от уровня физической активности, в том числе при максимальной и субмаксимальной частоте сердечных сокращений [17]. Применение компрессионных изделий практически не влияет на изменение концентрации лактата в плазме крови и на

изменение обхватных характеристик тела человека [18]. Положительный физиологический эффект компрессионной одежды связан с усилением кровотока в процессе физической активности, что стимулирует доставку кислорода к мышцам и соответственно повышает их производительность [19]. Предполагается, что использование компрессионной одежды обеспечивает дополнительную поддержку суставов и мышечных связок, не позволяя им выходить за рекомендованную схему движений, *изменяет уровень механического напряжения в мышечной ткани* и препятствует перемещению жидких сред организма [20].

Одни из наиболее значимых результатов в области исследования компрессионного давления получены в 1980 году в ходе исследования, проведенного Lawtence D. и Kakkar V.V. [56]. В результате исследования определены оптимальные диапазоны градуированного, статического, внешнего компрессионного давления нижней конечности (от лодыжки до колена). Диапазоны давления определены посредством измерения скорости глубоких вен (Технеций-99m), кровотока икроножных мышц (Ксенон-133) и подкожной клетчатки (Натрий-24) у лежачих пациентов. Диапазон давлений 18, 14, 10, 8 мм рт. ст. вызывал значительное увеличение средней глубокой венозной скорости без какого-либо последующего нарушения кровотока в икроножных мышцах или подкожной клетчатке. Более высокий диапазон давлений, равный 30, 26, 14, 18, 12 мм рт.ст., также вызывал увеличение средней глубокой венозной скорости, но вызывал значительное нарушение подкожного кровотока в икре.

Способность компрессионной одежды *улучшать показатели спортивной результативности* связана проявляется в виде ряда факторов:

- увеличении силы и мощности за счет повышения интенсивности мышечной оксигенации [16,19,20];
- увеличении перфузии крови и потребления кислорода при субмаксимальных нагрузках [21];
- улучшении проприоцепции (ощущения положения частей собственного тела относительно друг друга и в пространстве) [22,23] и мышечной координации [19], влияющих соответственно на экономичность движений [19,24,25];
- улучшении поструральной устойчивости и динамического равновесия, что важно для усиления двигательного контроля над своим телом [16,26];
- выносливости благодаря снижению воспринимаемой усталости [22];
- ослаблению вибрации мышечных волокон (физиологического тремора), что снижает вероятность их повреждения и мышечную усталость [19,27];

- предупреждении травм [14,28] (например, благодаря снижению на 27% силы удара в контактных игровых видах спорта [19]).

Способность компрессионной одежды *влиять на восстановление организма после физических нагрузок* проявляется в следующих факторах:

- уменьшении отека мышц после интенсивных тренировок или физических нагрузок [16,24];
- замедлении проявления симптома болезненности мышц и снижение интенсивности отсроченной мышечной боли (крепатуры) [14,18,21,22,24,26,27,29];
- ускорении восстановления мышечной силы и мощности мышц после чрезмерных физических нагрузок [14,16,23,26,27];
- улучшении удаления продуктов метаболизма [18,24];
- ускорении снижения уровня лактата в крови [16,24];
- уменьшении концентрации креатинкиназы как маркера воспалительных процессов в мышечной ткани [24,27,30];
- ускорении регенерации поврежденной мышечной ткани [23,28,31];
- повышении локального кровотока и соответственно кислородного снабжения мышечной ткани [32,33];
- понижении частоты произвольных колебаний (вибрации) мышечных волокон [34];
- увеличение температуры кожи [35].

Применение компрессионной одежды после физических нагрузок является эффективным способом уменьшить мышечную боль, возникающую в течение первых двух суток после интенсивных тренировок, и ускорить восстановление мышечной работоспособности [36]. Компрессионная одежда помогает спортсменам выполнять больший объем работы на тренировках и быстрее адаптироваться к их интенсивности.

Использование спортивной компрессионной одежды позволяет минимизировать негативные последствия от различных механических воздействий за счет внешнего градиента давления, неоднородно воздействующего на поверхность тела человека и снижающего опасность микро-уровневых травм [37]. Наиболее травмоопасными являются кратковременные ударные динамические воздействия с высокой интенсивностью и малой длительностью [38], часто встречающиеся на тренировках с изменяющимися видами нагрузок. В процессе выполнения плиометрических упражнений повышается нагрузка на суставы, мышцы и связки, поэтому компрессионная фиксация мышечной ткани делает тренировку более безопасной для спортсменов [39].

1.1.2 Разработка классификации ассортимента компрессионной одежды спортивного назначения

Одним из наиболее важных начальных этапов проектирования компрессионных изделий спортивного назначения является выбор видов изделий разрабатываемого ассортимента. Проведенный анализ литературы [40-48] показал отсутствие классификации компрессионных изделий спортивного назначения. Наиболее близкая к классификации компрессионных изделий - классификация плотнооблегающих изделий, разработанная Г.П. Старковой [42] (Приложение Б, Рис. Б.1) не учитывает условий эксплуатации и функциональное назначение компрессионной одежды, так как зачастую компрессионное воздействие необходимо лишь на ограниченных топографических зонах тела спортсмена.

На основе анализа условий эксплуатации компрессионных изделий спортивного назначения, а также рекомендаций ученых – физиологов и практикующих врачей сформированы новые признаки, по которым разработана классификация ассортимента компрессионных изделий (Рис.1.1). Классификация компрессионных изделий спортивного назначения произведена по виду физической нагрузки, особенностям внешней среды и физиологии спортсмена. Отдельную категорию представляют изделия для беременных женщин, занимающихся спортивными тренировками как в предродовой, так и постродовой периоды. Такие изделия обладают свойствами повышения проприоцепции и скорости восстановления мышечного тонуса, при этом обладают достаточно слабым компрессионным воздействием. В классификации также приведены изделия, обладающими свойствами защиты от холода (термобелье), повышения скорости циркуляции воздуха (велотренировки), свойствами длительной компрессии (бег), способности выдерживать воздействие давления водной среды (водные виды спорта). Выделенные классификационные признаки являются ключевыми при проектировании новых моделей компрессионных изделий и требуют проведения целого спектра исследований для обеспечения процесса проектирования необходимой исходной информацией.

1.1.3 Теоретические методы исследования давления компрессионной одежды на тело человека

Физические свойства растяжимых (трикотажных) полотен влияют на величину генерируемого давления на тело человека [40]. Российскими исследователями разработаны математические методы прогнозирования компрессионного давления на мягкие ткани фигуры человека, учитывающие устойчивые зависимости между усилиями растяжения, действующими в текстильных оболочках, и возникающим под оболочками компрессионном давлении [47,48]. Для более точной оценки давления компрессионных изделий на тело человека учитывают кривизну поверхности фигуры в продольных и поперечных сечениях [40]. Следует иметь в виду, что в процессе эксплуатации нагрузка компрессионных изделий на человека изменяется [49].

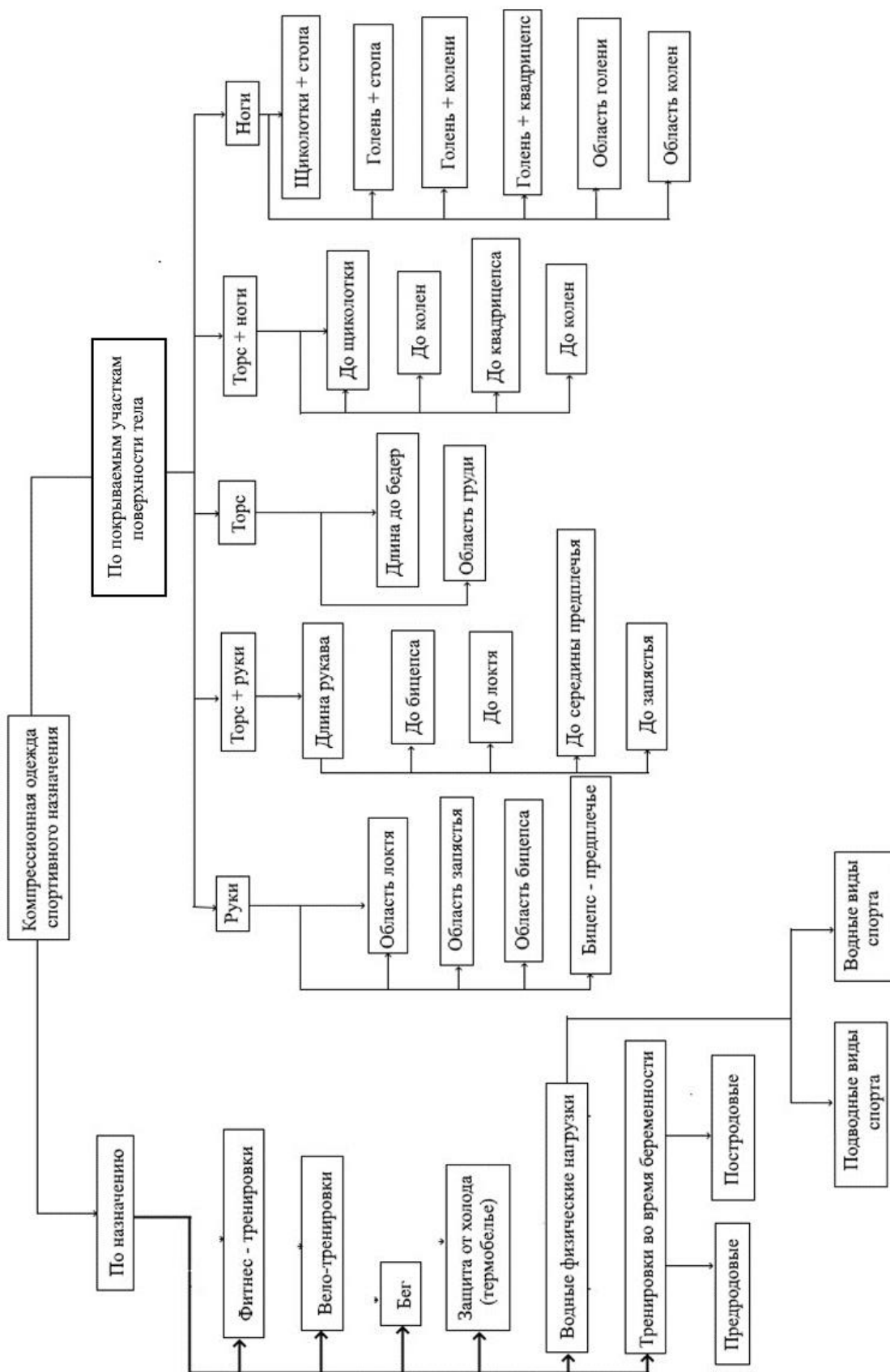


Рисунок 1.1 – Разработанная классификация ассортимента компрессионных изделий спортивного назначения по назначению и покрываемым участкам поверхности тела человека

Благоприятное воздействие компрессионной одежды наблюдается независимо от величины применяемого давления как при низких, так и при высоких значениях в рамках рекомендуемого интервала [50-52]. Степень давления, создаваемого компрессионной одеждой, определяется сложной взаимосвязью между следующими основными факторами: конструкцией и посадкой одежды, структурой и физико-механическими свойствами материалов, размерами и формой частей тела человека к которой применяется компрессия, а также характером спортивной деятельности [53-55]. Рекомендуемые диапазоны прикладываемого давления варьируются от 18,0 до 30,0 мм рт.ст. на лодыжке, 17,6÷25,0 мм рт. ст. на голени, 9,5÷20,0 мм рт. ст. в области коленного сустава, 11,2÷20,0 мм рт.ст. в области нижней части бедра и 9,1÷18,0 мм рт. ст. на верхней части бедра [56].

Одним из наиболее востребованных теоретических методов исследования компрессионного давления, обладающих высокой степенью достоверности, является проведение математического моделирования процессов воздействия компрессионного давления на организм спортсмена с помощью конечно-элементного анализа (КЭА). Метод конечных элементов основан на разделении (разбивке) исследуемого объекта на сетку, состоящую из малых участков – конечных элементов. Элементы могут иметь как плоскую геометрическую форму (треугольник, параллелограмм), так и объемную (тетраэдр, куб, параллелепипед). В узлах сформированной сетки задается весь спектр необходимых условий: свойства материала напряженно-деформируемого тела (чаще всего задается применительно ко всему объекту), воздействующие силы (ускорение свободного падения, давление, различные нагрузки и закрепления), а также граничные условия, после чего производится численное решение в вариационной постановке или в виде системы дифференциальных уравнений в частных производных. Результатом моделирования физического процесса в среде «спортсмен-одежда-среда» являются полученные величины деформаций мягких тканей тела под воздействием компрессионной одежды, а также величины механического напряжения, вызываемого изделием (Рис.1.2) [57]. Показанное на рисунке распределение компрессионного давления не учитывает гистерезис трикотажного полотна и предполагает нелинейное упругое поведение. Полученный японскими исследователями результат также игнорирует свойство сужения материала, характерный для неогуковского гиперэластичного тела, используемого в качестве моделирования деформационных свойств мягких тканей тела человека.



Рисунок 1.2 – Представление результатов КЭА на примере 3D-модели футболки [57]

Стоит отметить, что метод КЭА позволяет исследовать влияние давления на тело спортсмена не только в статическом положении, но также и в динамическом. Таким образом результаты КЭА позволяют получить дополнительный набор данных о фактическом влиянии компрессионной одежды на организм спортсменов.

Среди ключевых недостатков методов математического моделирования можно выделить сложность и высокую затратность вычислительных мощностей при проведении исследования. Данные методы предпочтительны для прогнозирования компрессионного давления при проведении научных исследований. При проектировании новых изделий компрессионного назначения в условиях отечественного производства необходим *экспресс-метод*, обладающий высокой точностью расчетов.

Для исследования давления, оказываемого текстильной оболочкой компрессионного назначения на поверхность тела человека, в работе рассмотрен расчет рекомендуемых величин давления с помощью безмоментной теории тонкостенных оболочек вращения ($h/R \leq 1/20$, где h – толщина стенки, (м); R – радиус кривизны оболочки, (м)) с применением закона Лапласа в качестве метода прогнозирования величины давления, применимого к цилиндрическому телу известного радиуса и с учетом определенных величин натяжения эластичного полотна.

Согласно закону Лапласа, давление на поверхность произвольной формы зависит от поверхностного натяжения и кривизны поверхности:

$$p = \sigma \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \quad (1)$$

где p – разность давлений действующего изнутри оболочки и действующего на оболочку снаружи, (Па); σ – поверхностное натяжение, (Н/м); R_1 – радиус кривизны в меридиональной плоскости, (м); R_2 – радиус кривизны в плоскости, перпендикулярной меридиану (м) (Рис. 1.3).

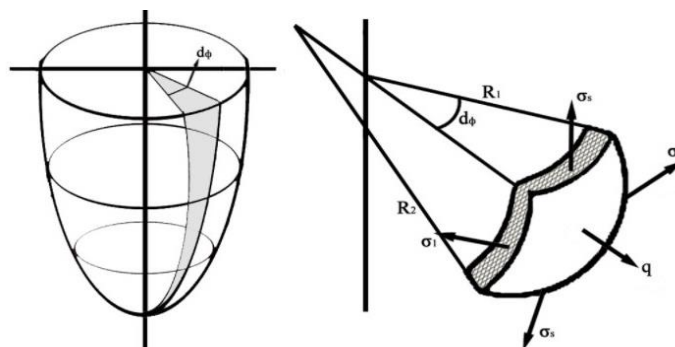


Рисунок 1.3 – Тонкостенная осесимметричная оболочка вращения

Для цилиндрической поверхности $R_1 = +\infty$, поэтому:

$$P = \frac{\sigma}{R}, \quad (2)$$

где P – давление, оказываемое на цилиндрическую оболочку вращения, Па; σ – натяжение трикотажного полотна, Н/м; R – радиус кривизны цилиндрической оболочки, м.

Для расчета конструкции элементов тонкостенной оболочки в безмоментном напряженном состоянии принимают нескольких условий:

- оболочка имеет форму плавно изменяющейся непрерывной поверхности с постоянной или плавно меняющейся толщиной h ;
- силы, действующие на поверхности оболочки, считают перпендикулярными ей и симметричными относительно оси вращения оболочки;
- сопротивление изгибу (изгибающий момент) считают равным нулю вследствие малой толщины оболочки.

Классическая формулировка закона Лапласа не учитывает кривизну сложной пространственной формы фигуры человека, свойства поведения эластичных материалов в одежде, а также деформационные характеристики тела человека.

Учеными предприняты несколько попыток корректировки закона Лапласа для использования в исследованиях и разработке компрессионной одежды. Так, Ng et al. [58] разработал формулу закона Лапласа с учетом коэффициента сжатия CF , а также с учетом модуля упругости ткани и соотношения между коэффициентом заужения и удлинением:

$$P = \frac{2\pi El(CF)R}{(1-R)C}, \quad (3)$$

где P – давление КО на тело (гр-сила/см²), R – коэффициент заужения, El – модуль упругости, CF – коэффициент сжатия, C – обхват поперечного сечения человеческого тела (см).

Макинтайр и др. [59] также внесли изменения в закон Лапласа, формула была выражена следующим образом:

$$P = \frac{T}{\frac{C}{2\pi}} = \frac{6.283T}{C}, \quad (4)$$

Маклевска и др. [60] определяли давление одежды на основе закона Лапласа с учетом свойств ткани. Формула имеет следующий вид:

$$P = \frac{2\pi F}{GW}, \quad (5)$$

где F - натяжение ткани (сН), W - ширина ткани (см), G - обхват поперечного сечения тела (см), P - давление (гПа).

Патч и др. [61] не только рассмотрели тип трикотажного полотна и степень заужения, но также рассмотрели модуль упругости и анизотропное поведение ткани. Улучшенная формула была переписана следующим образом:

$$P = \frac{2\pi EA_0 \varepsilon}{133.32 C^2}, \quad (6)$$

где P - давление (мм рт. ст.), E - модуль упругости (Па), A_0 - площадь поперечного сечения ткани (м^2), C - обхват поперечного сечения (м).

Таким образом большинство исследователей учитывали физико – механические характеристики трикотажных полотен и, в лучшем случае, изменение их геометрических характеристик на теле человека (коэффициент заужения), не учитывая при этом строение тела человека и его свойства упругости.

Поверхность тела спортсмена характеризуется сложной кривизной, которая не доступна для аппроксимации цилиндрической поверхностью. Радиусы кривизны различаются как в первом приближении: радиус кривизны боковых поверхностей намного меньше радиусов кривизны передней и задней частей поверхности тела спортсмена, так и при более детальном рассмотрении. В данную категорию можно включить кривизну общих анатомических зон (например, зону грудной клетки спереди, которая характеризуется двумя симметричными радиусами кривизны), индивидуальные анатомические особенности, а также морфологические особенности тела спортсмена, полученные вследствие активного занятия спортом. При этом, эти особенности различаются в зависимости от вида спорта и интенсивности прикладываемой физической нагрузки.

Подытоживая вышесказанное, можно выдвинуть гипотезу о применимости закона Лапласа в процессе проектирования компрессионной одежды применительно к участкам тела спортсмена с переменной кривизной, доказательство которой и является одной из целей исследования.

1.1.4 Экспериментальные методы исследования давления компрессионной одежды на тело человека

Согласно проведенному анализу [62,63], наиболее популярным методом исследования давления in-vivo является использование датчиков давления, принцип действия которых основан на изменении величины электрического сопротивления при

воздействию внешней силы на измерительную площадку сенсора, перпендикулярно плоскости площадки. Обеспечение внешнего воздействия достигается посредством расположения измерительной площадки между телом испытуемого и замкнутой трикотажной оболочкой и последующего растяжения данной оболочки. Растяжение трикотажа при эксплуатации изделия достигается обеспечением определенной величины заужения трикотажного полотна (отрицательной прибавки на свободу облегания).

Проведен анализ экспериментальных методов исследования компрессионного воздействия одежды на тело человека [64-66]. Установлена приоритетность метода *in-vivo* для исследования компрессионного давления. По результатам анализа ассортимента датчиков давления (Табл.1.1) выбраны устройства, в большей степени подходящие для проведения испытаний в системе «человек-швейное изделие».

Таблица 1.1 – Характеристика устройств для измерения давления

№ п/п	Название датчика	Описание	Преимущества	Недостатки
1	Samba 3000	Оптоволокновая измерительная система. Датчики давления располагаются на концах оптоволоконного кабеля.	Большое количество точек сбора данных	Плохая способность к изгибу
2	FlexiForce	Гибкий датчик с диаметром чувствительной области 9,53 мм. В состав входит 2 слоя: проводящий слой серебра и пьезорезистивные чернила	Тонкий, гибкий	Высокая погрешность при малых величинах давления
3	Salzmann	Пневматический карманный датчик. Устройство измеряет давление, производимой компрессионной оболочкой при равенстве с давлением воздуха.	Высокая точность измерений, малая толщина, большое кол-во данных	Чувствителен к изгибу
4	Textilepress	Устройство измерения давления, основанное на законе Лапласа. Размеры 70x50 мм, датчик имеет два типа измерений: один, измеряющий радиус кривизны, второй – растяжение ткани.	Измеряет радиус кривизны и растяжение ткани	Высокая погрешность измерений при больших площадях поверхностей

Для исследования компрессионного эффекта в спортивной одежде выбран метод измерения показателей давления (Па) с использованием датчиков давления, размещенных между двумя поверхностями, а именно компрессионной одеждой и поверхностью тела человека. Хотя поверхность тела человека отличается неоднородностью кривизны, можно разделить внешнюю форму фигуры человека на условные сегменты, выбранные по

принципу однородности радиусов кривизны, а также на топографические участки тела, требующие наибольшей защиты от механических воздействий и ускоренного восстановления после физических нагрузок.

Исходя из результатов анализа ассортимента датчиков давления, в качестве предпочтительного средства измерения давления компрессионной одежды на тело человека выбраны датчики давления FlexiForce модели A201 компании Tekscan [67,68], к отличительным характеристикам которых можно отнести ультратонкую толщину (0,203 мм), регулируемую длину (5,1/ 10,2/ 15,2/ 19,1 см) и малую ширину (14 мм). Рассматриваемая модель представляет собой гибкий пьезорезистивный датчик силы, доступный в трех различных диапазонах применяемой к нему силы: 4,4 Н (масса груза 0÷0,5 кг), 111 Н (масса груза 0÷12 кг), 445 Н (0÷45 кг). Так как масса компрессионной одежды, изготовленной из эластичного полотна, может составлять 50÷300 г, то для проведения экспериментальных исследований целесообразно использовать датчики с наименьшим силовым диапазоном (первый вариант). Сущность проводимого эксперимента по исследованию давления, оказываемого оболочкой компрессионной спортивной одежды на тело человека, заключается в следующем: гибкий датчик давления FlexiForce помещают между телом человека и швейным изделием так, чтобы чувствительный элемент, расположенный на одном конце датчика, в виде окружности радиуса 7 мм, фиксировал показатели давления. Для повышения точности измерений при небольшой величине компрессионной нагрузки можно повысить напряжение на входе или увеличить сопротивление резистора обратной связи в электрической схеме.

1.1.5 Влияние приборной погрешности сенсоров давления на измерение компрессионного давления

Проведен обзорный анализ работ по исследованию влияния приборной погрешности сенсоров давления на точность измерений. Наиболее масштабная работа в данном направлении проведена учеными из Королевского технологического института Мельбурна (RMIT, Австралия). В работе Ходасевич и др. [69] проводилось исследование точности измерения компрессионного давления в статическом состоянии. Команда ученых разработала измерительную установку с цилиндрической оболочкой вращения, на поверхность которой были надеты силиконовые подложки, имитирующие мягкие ткани человека. В результате установлено, что исследуемые сенсоры давления демонстрируют дрейф выходного напряжения во времени из-за перенастройки частиц внутри пьезорезистивного полимера, а также из-за вязкоупругой природы полимерной подложки (Рис.1.4). Вследствие чего, исследователями установлено, что изменения в полученных

показаниях давления, происходящие из-за дрейфа выходного напряжения, значительно уменьшаются после достижения датчиками устойчивого состояния.

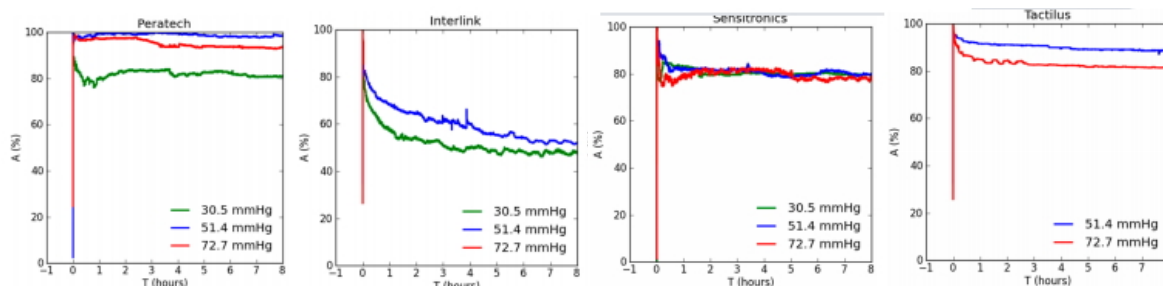


Рисунок 1.4 – Результаты исследования точности измерения компрессионного давления с помощью гибких датчиков давления [69] (горизонтальная ось – время (ч.), вертикальная ось – точность измерений (%))

При этом сенсорам требовалось различное время для достижения этого устойчивого состояния: Peratech, Sensitronics и Flexiforce достигли устойчивого состояния быстрее всего, в течение нескольких минут, в то время как устройству Tactilus, а также Interlink, применяемому в нашей работе, потребовался почти час, чтобы достичь устойчивого состояния. Установленная в результате проведенного Ходасевич и др. исследования точность измерения компрессионного давления приведена в Таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Средняя точность измерения давления в статических условиях

№ п/п	Сенсор	Точность измерений (%)		
		Для давления		
		30.5 мм. рт. ст.	51.4 мм. рт. ст.	72.7 мм. рт. ст.
1	Peratech	83.7	98.1	95.6
2	<i>Interlink</i>	<u>67.0</u>	<u>74.9</u>	=
3	Sensitronics	84.3	87.2	84.9
4	Tactilus	-	92.8	89.5
5	Tekscan Flexiforce	70.4	96.4	85.8

По итогам анализа представленных данных установлено, что применяемый в диссертационном исследовании сенсор FSR 402 Interlink имеет точность 67 – 75 %, при этом точность возрастает при увеличении прикладываемого давления. Стоит отметить, что данная тенденция сохраняется и в случае использования сенсора FlexiForce, особо популярного при проведении исследований в области проектирования компрессионной одежды. Точность сенсора при этом составляет 70.4 % при давлении в 4066 Па.

Минимальная величина прикладываемого давления, установленная в рамках «золотого стандарта» компрессионного давления, равна 4066 Па. При этом данная величина

является верхней границей диапазона давления, используемого при проектировании и исследовании давления, оказываемого компрессионной одеждой повседневного и спортивного назначения на тело человека. Следует предположить, что при прикладывании меньшего давления будет достигаться еще более меньшая точность.

По итогам проведенного анализа, сделан вывод о высокой вероятности отрицательного влияния приборной погрешности измерений на точность прогнозирования давления компрессионной одежды (КО) на тело спортсмена при проведении исследований *in-vivo* с помощью сенсоров давления, так как сенсоры регистрируют значения, больше истинных на 29 – 33 % для диапазона компрессионного давления, применяемого в проектировании одежды немедицинского назначения.

1.1.6 Структура процесса прогнозирования компрессионного давления одежды на тело человека

Целесообразность использования эффекта компрессии в спортивной одежде возможна при определенном зонировании эластичных материалов в конструкции одежды, обеспечивающем требуемое воздействие на поверхность тела человека и эргономичность компрессионного изделия.

Для обоснованной оценки влияния компрессионной одежды спортивного назначения на организм человека следует интегрировать показатели антропометрии, биомеханики, физиологии, спортивной медицины, биокинематические и эргономические характеристики, чтобы сопоставить их вариабельность при использовании или не использовании компрессионных изделий. Решение этой задачи требует комплексного подхода к процессу проектирования одежды спортивного назначения, обеспечивающего взаимосвязь не только конструктивных и технологических параметров изделия, свойств используемых материалов, но и функциональных характеристик организма спортсмена с учетом факторов внешней среды.

В соответствии с необходимостью комплексного подхода к процессу проектирования компрессионных изделий спортивного назначения определена структура процесса прогнозирования компрессионного давления одежды на тело человека (Рис. 1.5).

В диссертационном исследовании предложено наполнить обобщенную структуру процесса проектирования базами данных: деформационными характеристиками мягких тканей спортсмена и показателями кривизны поверхности тела спортсмена (выделенные на Рис. 1.5 синим цветом). Эти данные необходимы для достоверного прогнозирования давления компрессионной одежды на тело спортсмена, при этом предлагаемый метод прогнозирования обладает сравнительной простотой и быстротой расчетов, что является

преимуществом для использования на малых инновационных предприятиях, а также в условиях критического состояния российской легкой промышленности, в особенности сектора производства спортивной одежды.

Применение данных о распределении показателей кривизны поверхности тела спортсмена в процессе проектирования компрессионных изделий спортивного назначения позволит достичь соответствия заданных при проектировании характеристик изделия фактическим, полученным при эксплуатации готовых изделий, а также обезопасить тело спортсмена от высоких показателей компрессионного воздействия без наличия на то медицинских показаний.

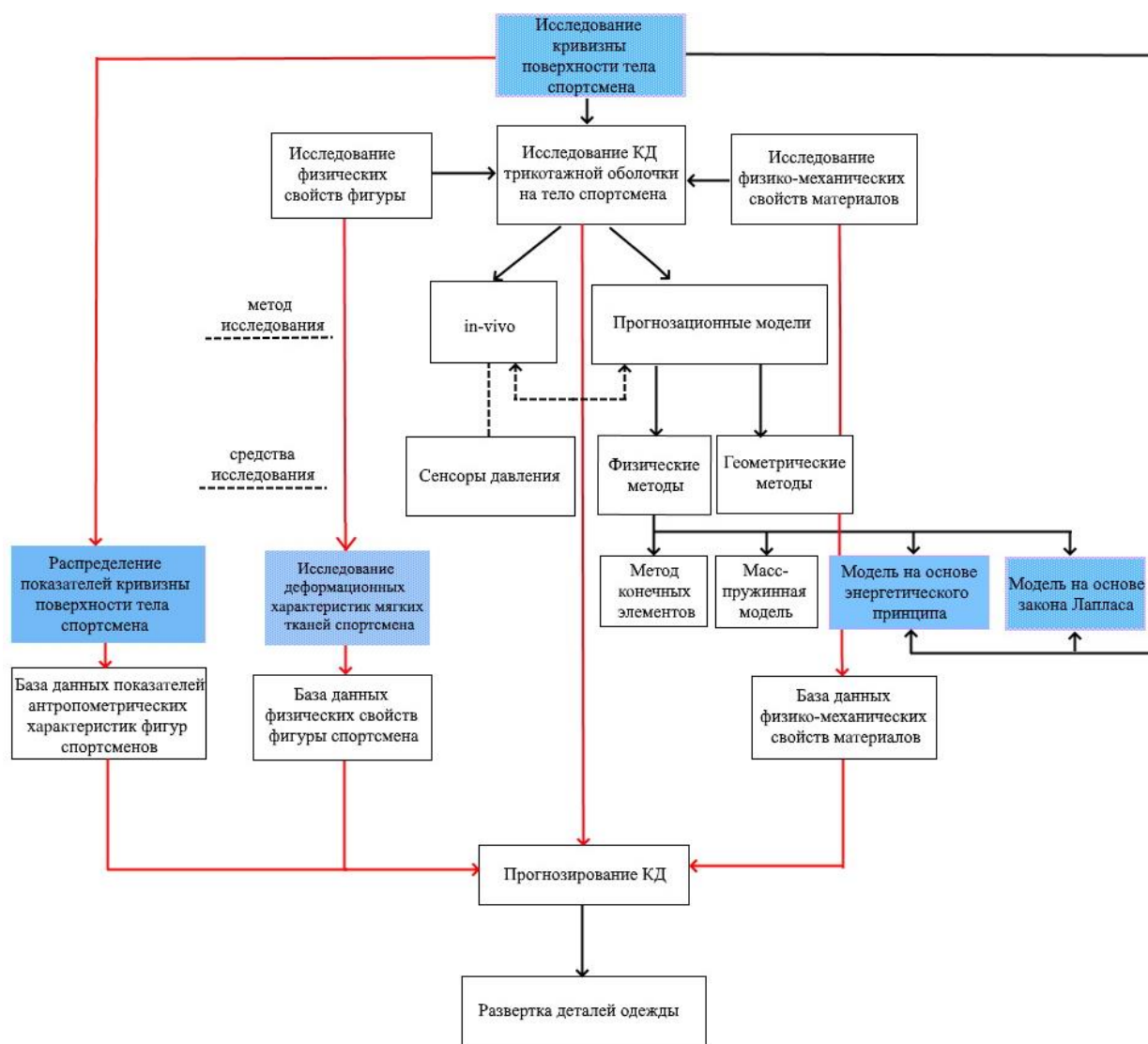


Рисунок 1.5 – Структура процесса прогнозирования компрессионного давления одежды на тело человека

1.2. РАЗРАБОТКА КОНЦЕПЦИИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРОЦЕССА ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОМПРЕССИОННОЙ ОДЕЖДЫ СПОРТИВНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Согласно проведенному в 2015 году мета-анализу [23] результатов 24 научных работ, посвященных исследованию эффективности компрессионных изделий (КИ) немедицинского назначения, не обнаружены какие-либо значительные и устойчивые изменения в физиологических показателях организма человека в период эксплуатации КИ в том числе в параметрах: «восстановление работоспособности» (performance recovery), уменьшения крепатуры мышц (DOMS), уменьшения основных пост-тренировочных биохимических маркеров воспалительных процессов, главным образом уровня креатинкиназы и лактатдегидрогеназы в крови спортсмена. При этом существует большое количество исследований, в которых установлено снижение осцилляции мышц, а также психологические эффекты, главным образом повышение проприоцепции спортсмена [4].

Несмотря на отсутствие научно-доказательной базы эффективности ношения компрессионной одежды спортивного назначения, потребительский интерес к данному виду изделиям остается огромным. Размер мирового рынка компрессионной одежды в 2018 году достиг 3 млрд. долларов, сохранив за собой колоссальные темпы роста, с возможностью роста более чем в 1,5 раза в следующие пять лет. Большую долю рынка (более 60%) все еще занимают КИ медицинского назначения: постоперационные, ожоговые повязки, изделия для беременных женщин. При этом в последние годы наблюдается рост доли КИ спортивного назначения (более 30 %) в общем объеме продаж. Доля отечественных производителей в общем объеме продаж при этом составляет около 10% [70].

Для увеличения спроса на продукцию отечественного производства необходимо сформулировать новые принципы проектирования компрессионной одежды спортивного назначения на основе научно-обоснованных последовательных этапов доказательства ее эффективности.

1.2.1 Направления разработки высокофункциональной одежды

В широкой литературе к изделиям, изготовленным с применением инновационных технологий, применяется термин «умная» одежда [71]. Первоочередной задачей является необходимость установления корректной терминологии в отношении «умных» швейных изделий.

В научно-технической литературе широко применяется термин «high performance», что является аналогом русскоязычных терминов «высокопроизводительный»,

«высокоэффективный», «с высокими (эксплуатационными) характеристиками». В русскоязычной литературе присутствует термин «высокотехнологичный», используемый для описания эффективной технологии изготовления изделия, свойств материалов, и оптимальных параметров оборудования, позволяющих повысить качество изделий, а не его функциональность, уровня его воздействия и взаимодействия с организмом человека.

С учетом вышесказанного, для определения инновационных швейных изделий, обладающих способностью коммуникационной связи с физиологическими характеристиками человека, а также свойством оказывать (взаимо-) влияние на физиологическое, психофизиологическое, физическое, психофизическое и психологическое состояние организма человека предлагается в научной литературе использовать термин «высокофункциональный» (highly functional, high-functional), наравне с термином «умная» (smart), используемым в широкой и научно-популярной литературе или «high performance» в англоязычной литературе.

На Рисунке 1.6 представлена систематизированная схема направлений разработки высокофункциональной одежды (ВФО). В соответствии с требованиями, предъявляемым к деятельности профессиональных спортсменов и оценке их эффективности, выделены 5 основных направлений высокофункциональной одежды и два смежных. На основе выделенных позиций систематизированы направления разработки ВФО (Табл. 1.3).



Рисунок 1.6 – Схема основных направлений разработки высокофункциональной одежды

Таблица 1.3 – Направления разработок высокофункциональной одежды

Направление разработки	Назначение ВФО	Ассортимент ВФО	Технология реализации высокой функциональности
Биометрия	Одежда с функцией сбора и анализа биометрических данных и оповещения о физиологическом состоянии человека	• Одежда для беременных женщин • Одежда для младенцев • Одежда для людей с ограниченными возможностями • Спортивная одежда	• Технология токопроводящего текстиля • Технология беспроводной передачи данных • Технология анализа биометрических данных • Технология автоматизации задач • Технология создания апплетов на основе условных операторов
Информация			
Дизайн	Одежда, обладающая особыми эстетическими свойствами		• Технология функции памяти формы • Технология люминесценции • Технология разработки электронно-текстильных дисплеев
Защита	Одежда специального назначения для защиты от внешних воздействий		• Технология адаптивного камуфляжа • Технология терморегуляции
Эргономика	Одежда, обеспечивающая комфорт человека в пододежном пространстве	Изделия с терморегулирующими свойствами на основе материалов с памятью формы	Технология памяти формы
			• Технология зонального распределения текстильных материалов с антибактериальными свойствами • Технология зон сорбции и вывода пота • Технология зон повышенной растяжимости текстильных материалов
Повышение результативности	Одежда, обеспечивающая повышение результативности	• Одежда медицинского назначения • Спортивная одежда	• Технология контурного распределения • Технология адгезионного взаимодействия текстильных композиционных материалов и поверхности тела человека • Технология сенсорной стимуляции мышечной системы человека

Представленные направления классифицированы по функциональному назначению разрабатываемой одежды, выделены направления разработки одежды с функцией снятия и анализа физиологических показателей организма спортсмена (направление «Биометрия»). Способность внедрения в структуру одежды элементов с оптоволоконными, фотонными элементами, LED-устройствами позволяет разрабатывать изделия, обладающие информационной функцией (направление «Информация») [71-75].

Наиболее перспективным является смежное направление разработки высокофункциональной одежды «*биометрическо-информационное*» со способностью оповещать о физиологическом состоянии спортсмена по результатам пост-обработки полученных биометрических данных [76-80].

Способности светоизлучающих элементов применимы и в художественном проектировании изделий с визуальными функциями (направление «*Дизайн*»). Особый интерес со стороны дизайнеров отмечен в области художественного проектирования одежды из материалов с памятью формы [81-82]. Одежда, изготовленная с применением технологии памяти формы способна к самотрансформации во времени под воздействием внешних источников (активаторов) [83-84]: температуры, влажности и т.д.

Наиболее востребованным может стать направление разработки ВФО «*Защита*». Изделия на основе технологии микрокапсулирования полимеров с изменяемым фазовым состоянием [85-86] способны к активной терморегуляции пододежного пространства: защиты от экстремального холода [87-88]; защиты от повышенных температур (костюмы для пожарных) [89-90]. Перспективна и технология адаптивного камуфляжа, основанная на применении фото- и термохромных красителей [91-92]. Изделия, разработанные с применением данной технологии, способны менять цветовое решение паттерна текстильного материала в зависимости от внешних воздействий (температуры или светового излучения) и предназначены для сотрудников специальных подразделений [93].

Наиболее широкой областью применения обладает направление разработки «*Эргономика*». В данном направлении возможно применение большинства выше представленных технологий: технологии терморегулирующего текстиля, памяти формы, биометрии. При этом, наиболее актуальным, с позиции применения в области проектирования компрессионных изделий спортивного назначения, являются технологии, направленные на повышение показателей физиологических параметров за счет управления и зонирования компрессионного воздействия одежды на тело спортсмена, регулирования температуры пододежного пространства, регулирования пото- и влагоотделения, зонировании материалов с антимикробными свойствами.

В связи с потребностью конкретизации целей и задач исследования, изучена классификация эргономических свойств одежды (Приложение Б, Рис. Б.2). Согласно классификации, предложенной Кобляковой Е.Б. [94], эргономические свойства одежды чаще всего характеризуются антропометрическим, гигиеническим и психофизиологическим соответствием. Вместе с тем, для одежды спортивного назначения наиболее предпочтительным является оценка эргономических характеристик одежды с позиции взаимовлияния факторов, оказывающих воздействие на тело и/или организм человека. В связи с этим предложено дополнить существующую классификацию эргономических характеристик дополнительным перечнем характеристик с позиции влияния на организм человека и методам оценки этого влияния (Рис. 1.7).

Так, *физиологические* характеристики предложено оценивать по изменению показателей мышечной активности, уровню аэробной работоспособности, биомеханическим параметрам в процессе эксплуатации изделия и пост-тренировочный период.

Для оценки *физических* характеристик предложено оценивать уровень компрессионного воздействия одежды на тело человека и отклонение величин компрессионного давления от рекомендованных учеными-физиологами.

Психофизические характеристики предназначены для психологической оценки физических характеристик: давления одежды на тело человека, влияния одежды на уровень физического давления одной части тела на другую; фрикционного и адгезионного взаимодействия одежды и тела человека; воздухо- и влаго-проницаемости, теплового баланса.

К *психофизиологическим* относятся характеристики, на показатели которых, процесс эксплуатации одежды влияет косвенно. Так, в процессе эксплуатации компрессионных изделий происходит изменение частоты сердцебиения [27]. При этом, на данный параметр оказывает влияние множество биологических процессов, происходящих одновременно с процессом эксплуатации, в связи с чем оценка уровня воздействия одежды на психофизиологические характеристики остается затрудненной.

Психологические характеристики предложены для субъективной оценки общего восприятия различных параметров, в основном тактильных и визуальных ощущений.

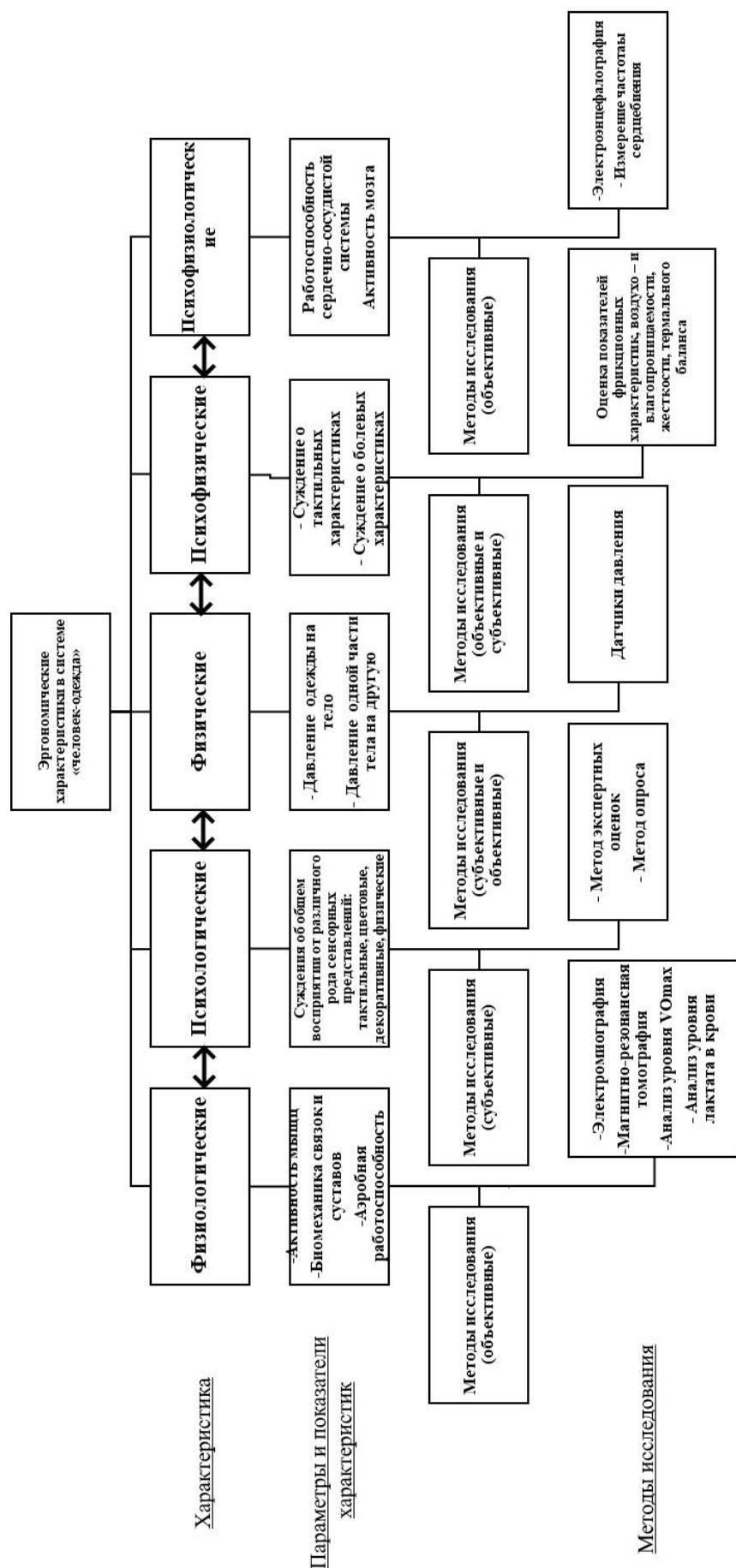


Рисунок 1.7 - Классификация эргономических характеристик одежды и методы их исследования

1.2.2 Анализ разработок в области проектирования компрессионной одежды спортивного назначения

За последние десятилетия представлено большое количество работ в области проектирования компрессионных изделий спортивного назначения (КИСН).

По оценкам Gartner [95], продажи умной одежды вырастут от почти 26 миллионов изделий в 2016 году до 112 миллионов в 2022 году. В настоящее время коммерчески успешными стали умные рубашки для элитных спортсменов, разработанные такими производителями, как Adidas, Under Armour и Ralph Lauren [96-98]. Эксперты, однако, прогнозируют, что спортивная одежда со встроенной электроникой скоро станет обязательным требованием для сотрудников специальных подразделений и для людей, заботящихся о своем здоровье.

Немецкими учеными разработан костюм Antelope (Рис.1.8) [99], основной функцией которого является измерение биологических данных, таких как частота сердечных сокращений, температура тела и циклы сна. Электронное устройство размером со смартфон, управляемое приложением, активирует электроды и определяет силу импульса. Технология костюма основана на концепции электрической стимуляции мышц (ЭМС), которая была использована и научно изучена в реабилитации, физиотерапии и тренировках элитных спортсменов. Костюм предназначен для усиления тренировочного эффекта от занятий спортом, таких как бег и езда на велосипеде.

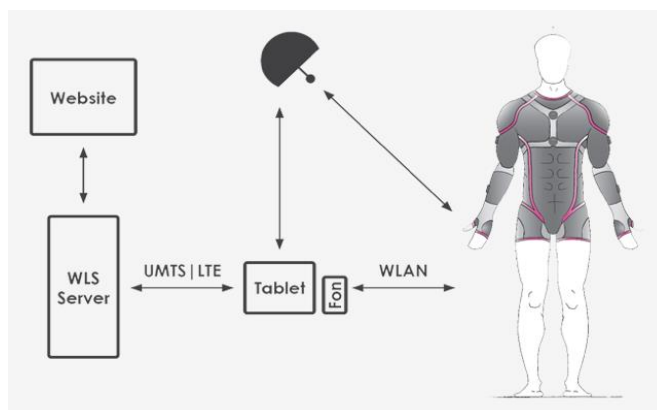


Рисунок 1.8 – Умный спортивный костюм Antelope для измерения биометрических данных [104]

Американскими разработчиками из компании Myontec [100] представлен костюм (Рис.1.9) на основе технологии отслеживания мышечной нагрузки, встроенной в изделие со способностью компрессионного воздействия на тело спортсмена. Информация, передаваемая через устройство, включает работу мышц, предупреждение о перегрузке, предупреждение об обнаружении проблемы, инструкции по тренировкам и другую информацию, основанную на биосигналах, исходящих от тела спортсмена.



Рисунок 1.9 – Спортивные компрессионные шорты с технологией отслеживания мышечной нагрузки [100]

Французские исследователи из Cityzen Sciences [101] разработали изделия (Рис. 1.10) на основе технологии Smart Sensing, в которых в структуру трикотажного полотна внедрены биометрические микродатчики. Спортивные изделия считывают температуру тела, частоту дыхания, частоту сердечных сокращений и движение через местоположение с помощью GPS. Новая интеллектуальная матрица объединяет датчики, матрицу, распределенные вычисления и небольшой передатчик с батарейным питанием в единое целое, которое в реальном времени связывается со смартфоном. На телефоне запускается приложение, которое хранит и анализирует данные из ткани, показывая, устал ли спортсмен, находится в состоянии стресса или критического состояния здоровья, например, сердечного приступа.

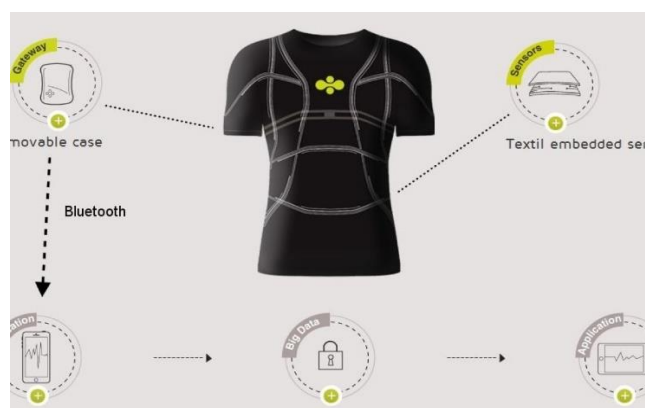


Рисунок 1.10 – Прототип спортивной компрессионной футболки на основе технологии Smart Sensing с биометрическими функциями [101]

Другие разработчики представили прототип изделия, в структуру которого внедрены датчики, способные измерять уровень кислорода в крови, дыхательный объем (количество воздуха, поступающего в легкие и выходящего из него при нормальном дыхании). Ведутся исследования по созданию измерительной системы на текстильной подложке, способной определять уровень глюкозы в крови, что является жизненно важной функцией для мониторинга здоровья определенных категорий людей [102-105].

По итогам проведенного анализа сделан вывод о преобладании компрессионных изделий при проектировании «умной» одежды спортивного назначения. Общая для большинства разработок технология основана на функции измерения биометрических сигналов с помощью электронных микродатчиков и токопроводящих трикотажных полотен. Установлено, что наиболее перспективными областями применения представленных разработок является разработка изделий для людей, которые оказываются в экстремальных условиях, таких как спортсмены, лица, оказывающие первую помощь, солдаты.

Следующий этап проведен анализ исследований и разработок в области проектирования функциональной компрессионной одежды спортивного назначения. Установлено, что основной заявляемой функцией данных изделий является оказание локальной поддержки мышц и суставов. Среди основных физиологических преимуществ при эксплуатации изделий выделяют улучшение осанки, предотвращение травм, вызванных занятиями спортом (например, ушибы, растяжения связок, вывихи, разрыв мышц, переломы), а также реабилитация поврежденной части тела, на которой находится предмет одежды [106].

Исследователями из японской корпорации ANYONE Co Ltd [107] разработаны функциональные спортивные изделия (Рис.1.11), позволяющие снизить мышечный стресс и повысить стабильность мышечно-скелетных структур, предотвращая травмы особенно чувствительных или подверженных стрессу частей тела, а также может помочь в восстановлении после травм, контрастирования синяков и выпотов, вызванных травмой и сокращением времени восстановления организма спортсмена. Реализация заявленных функций, по данным разработчиков, происходит за счет закрепления частей изделия, изготовленного из материала с низким коэффициентом трения, к телу спортсмена.



Рисунок 1.11 – Образец функциональных изделий спортивного назначения на основе адгезионной технологии для повышения стабильности мышечно-скелетных структур [107]

Командой итальянских ученых – физиологов, практикующих остеопатов в сотрудничестве с компанией Ergea [108], представлено высокофункциональное компрессионное белье спортивного назначения (Рис.1.12), при разработке которого использовался принцип строения и работы экзоскелета, способного работать вместе со структурой тела, предлагая нейро-мышечно-скелетную поддержку. В этом «экзоскелете» все элементы взаимосвязаны таким образом, что они могут перемещаться в ответ на любое локальное напряжение, когда спортсмен осуществляет двигательную активность, так что каждая из вышеупомянутых закрепленных частей и активных частей воздействует на нейромышечную структуру скелета, чтобы усилить естественную дополнительную реакцию человеческого организма.

Разработчики полагают, что, в отличие от моделей – аналогов, которые используют разницу в показателях трения между телом спортсмена и внутренней подкладкой для активации нервных рецепторов кожи, заявляемые эффекты возможно достичь в результате создания напряженной структуры, которая поддерживает тело и посредством соответствующего расположения каркаса и его компонентов, и таким образом механически стимулирует рецепторы проприоцептивных нервов костей и глубоких мышц. Таким образом, предмет одежды работает совершенно по-другому в отношении известных аналогов, так как он применяет концепцию напряженности для создания вспомогательной структуры, которая может обеспечить одно или несколько из следующих преимуществ: поддержку сокращения и растяжения мышечных оболочек, ограничение выполнения чрезмерно широких движений, модуляцию мышечного напряжения и компрессии кости, стимуляцию кровообращения и лимфатической жидкости, содействие нейрональной функции [32].



Рисунок 1.12 – Модели высокофункциональных компрессионных изделий спортивного назначения на основе принципа связанной напряженности [108]

По итогам проведенного анализа функциональных компрессионных изделий спортивного назначения, можно сделать вывод о преобладании технологии адгезионного взаимодействия текстильных материалов с телом человека, принцип которого схож с техникой «кинезиотейпирования», то есть техникой перевязки посредством клейких эластичных полос, которые ограничивают подвижность сустава и расширение мышц.

Техника кинезиотейпирования подразумевает очень точное ручное прикрепление лент к коже спортсмена для достижения корректных величин натяжения материала. Часто создается градиент натяжения, который невозможно реализовать для технологии адгезионного закрепления одежды, или ее частей. Вместе с тем, установлены общие с предлагаемыми в диссертационном исследовании принципы и механизмы воздействия (высоко-) функциональных компрессионных изделий на организм спортсмена, например, принцип активации нервных рецепторов кожи за счет механического воздействия трикотажной оболочки с повышенными адгезионными свойствами, а также зональное распределение текстильного материала с повышенными показателями натяжения полотна для повышения стабильности мышечно-скелетных структур. Полученная в результате анализа информация использована при разработке процесса проектирования высокофункциональных компрессионных изделий спортивного назначения.

1.2.3 Информационная модель проектирования высокофункциональной компрессионной одежды спортивного назначения

В основе процесса проектирования высокофункциональной компрессионной одежды лежит принцип взаимодействия эффекта компрессии и некомпрессионного физического воздействия плотнооблегающих оболочек на тело спортсмена (Рис. 1.13). В результате изучения механизмов некомпрессионного воздействия предложена технология сенсорной стимуляции мышечной системы человека, для реализации которой в системе «человек-одежда» предложена технология контурно-распределенного компрессионного воздействия на основе исследования работы миофасциальных соединений в процессе интенсивной физической нагрузки. Достижение необходимого для повышения физиологических показателей (мышечной активности) уровня сенсорной стимуляции возможно лишь в результате разработки и исследования материалов, обладающих повышенными показателями адгезионных свойств.

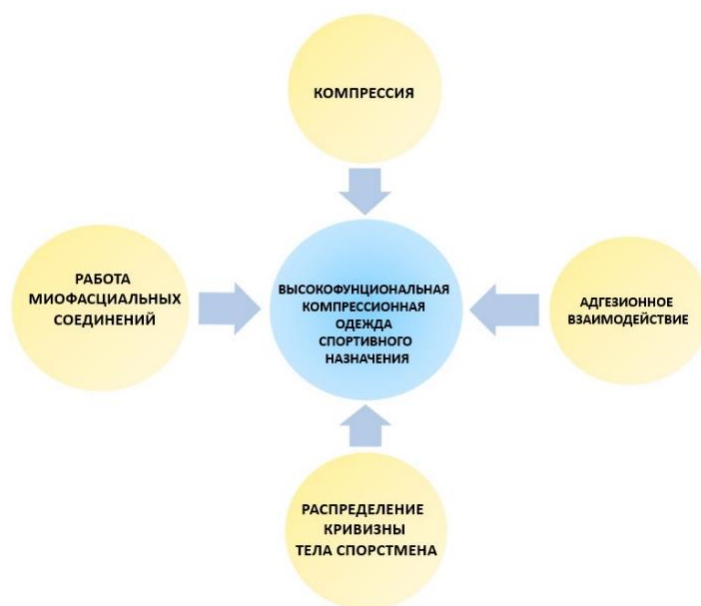


Рисунок 1.13 – Информационная модель проектирования компрессионной одежды спортивного назначения, обладающей функцией повышения физиологических показателей спортсмена

В работе предложено использовать компрессионную способность эластичных трикотажных полотен с целью повышения мышечной активности спортсмена. Принцип действия проектируемых «умных» изделий с функцией повышения мышечной активности основан на зонировании компрессионного воздействия трикотажной оболочки на тело спортсмена. Зональное распределение основано на изучении мышечной карты, механизмов действия мышечного аппарата, а также выявления наиболее активных в процессе физической нагрузки мышц.

В процессе эксплуатации спортивные плотнооблегающие изделия испытывают кручение, изгиб, сдвиг, а также растяжение и сжатие. Первые три деформации оказывают наибольшее негативное влияние на стабильность изделия, под которым подразумевается соответствие зон изделия зонам поверхности тела спортсмена. Для обеспечения «стабильности» изделия в процессе эксплуатации предлагается обеспечить высокое адгезионное взаимодействие изделия из трикотажного полотна и поверхности тела по контурам зонального распределения компрессионного воздействия. В качестве адгезионного слоя предложено наносить силиконосодержащие вещества на внутреннюю поверхность изделия.

Расчет величин прикладываемого компрессионного давления предложено производить в соответствии с ранее приведенными в работе учеными – физиологами рекомендациями, но при этом с учетом кривизны поверхности в проектируемых зонах.

Проверку принципа повышения мышечной активности в процессе эксплуатации «умных» компрессионных изделий спортивного назначения предложено провести с использованием метода электромиографии (ЭМГ/EMG).

Таким образом для реализации концепции проектирования КОСН с функцией повышения мышечной активности, определен перечень проблем и задач исследования:

1. Получить образцы композитов «трикотаж – полимер» и изучить их физико-механические свойства.
2. Исследовать адгезионное и фрикционное взаимодействие трикотажных материалов с повышенными адгезионными свойствами.
3. Изучить механизмы взаимодействия мышечных тканей в процессе интенсивной физической нагрузки спортсмена.
4. Разработать контурную карту зонального распределения мышц, наиболее восприимчивых к компрессионному воздействию с позиции возможного повышения мышечной активности посредством компрессионных изделий спортивного назначения.
5. Произвести расчет величины компрессионного давления в соответствии с рекомендациями и переменной кривизной тела спортсмена.
6. Разработать способ построения конструкций плотнооблегающих спортивных изделий согласно разработанной контурной карте.
7. Разработать систему исследования мышечной активности на основе сенсора мышечной активности MyoWare и одноплатного компьютера Arduino Uno/Raspberry Pi 2.
8. Провести исследования мышечной активности в процессе эксплуатации «умной» компрессионной одежды спортивного назначения.
9. Разработать информационную схему процесса проектирования высокофункциональных КОСН.

Выводы по 1 главе:

1. По итогам изучения оценки влияния компрессионных изделий спортивного назначения на организм человека, установлено наличие неустойчивых эффектов различного действия от механической поддержки до изменения биохимических параметров организма.
2. Разработана классификация компрессионных изделий спортивного назначения, произведенная по виду физической нагрузки, особенностям внешней среды и физиологии спортсмена. Классификация предназначена для использования при разработке ассортиментных матриц компрессионных изделий спортивного назначения.
3. По итогам проведенного анализа существующих теоретических и экспериментальных методов исследования давления компрессионных оболочек на тело человека установлено отсутствие экспериментальных методов измерения давления, обладающих статистической достоверностью при измерениях в диапазоне компрессионного давления немедицинского назначения (менее 4066 Па); установлено отсутствие экспресс-методов расчета величин компрессионного давления, обладающих точностью и статистической достоверностью.
4. Установлена приоритетность использования закона Лапласа при расчете величин давления в существующем процессе проектирования компрессионных изделий спортивного назначения; установлены факторы, негативно влияющие на достоверность прогнозирования компрессионного давления с помощью закона Лапласа и таким образом, необходимость проведения исследований для поиска способов его корректировки.
5. Проведен анализ результатов российских и зарубежных исследований в области проектирования функциональных компрессионных изделий спортивного назначения. Установлено, что основной заявляемой функцией данных изделий является оказание локальной поддержки мышц и суставов.
6. Разработана обобщенная структура процесса прогнозирования компрессионного давления одежды на тело человека, которую предложено дополнить базами данных: деформационными характеристиками мягких тканей спортсмена и показателями кривизны поверхности тела спортсмена.

ГЛАВА 2. ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГЕТЕРОГЕННЫХ ТРИКОТАЖНЫХ ОБОЛОЧЕК СПОРТИВНОГО НАЗНАЧЕНИЯ С ОДНОРОДНОСТЬЮ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КОМПРЕССИОННОГО ДАВЛЕНИЯ

Обеспечение давления компрессионной одежды на тело спортсмена достигается согласно рекомендованным исследователями значениями: от 1067 до 2399 Па [39]. Большинство источников приводят рекомендации только для различных уровней нижних конечностей [37-38], реже – верхних конечностей. При этом существует крайне ограниченное количество научных работ в области исследования давления компрессионной одежды на торс человека [39]. В исследованиях указываются достаточно низкие величины давления, от 1067 Па для верхней части торса, до 1150 Па для нижней части торса. Среди основных причин отсутствия необходимости в обеспечении компрессионного давления в указанных областях можно выделить расположение желудочно – кишечного тракта в нижней области, и, связанная с этим, низкая эффективность компрессионной одежды (КО), а также высокая изменчивость размерных признаков задней части торса (спины).

Как было указано выше, давление КО на тело спортсмена задается постоянным значением на определенных уровнях согласно установленным рекомендациям. Вместе с тем, давление готового изделия по периметру тела спортсмена распределяется дифференцировано, в результате чего КД на рекомендованных антропометрических уровнях не соответствует заданному при проектировании.

Прогнозированию дифференцированного распределения компрессионного давления посвящено множество работ. В исследованиях, проведенных Rong Liu et. al. [123], с помощью сенсора давления FlexiForce измерялось давление кожи в 16 различных точках, расположенных на четырех высотах и в четырех направлениях нижней конечности тела. В результате исследования установлено, что самое высокое давление достигается в области голеностопного сустава, постепенно уменьшается к бедру, что соответствует градиенту давления по уровням тела человека. При этом, по периметру поперечных сечений *не удается достичь постоянной величины давления*. Так, например, давление в области голеностопного сустава было намного ниже, чем на выступающей части голени, в среднем на 36 %. В результате исследования сделан вывод, что во всех исследуемых образцах компрессионных изделий не достигается давление, рекомендованное производителями.

Таким образом, с точки зрения повышения удовлетворенности качеством компрессионной одежды потребителями и обеспечения выполнения КО заданной функции необходимо обеспечить однородность распределения давления КО в областях тела, соответствующих рекомендованным антропометрическим уровням.

На первом этапе исследования проведено трехмерное сканирование 34 фигур спортсменов, занимающихся силовыми и аэробными тренировками в возрасте 22 – 36 лет, как профессионального, так и любительского уровня подготовки. В Таблице 2.1 и Приложении В представлены параметры исследуемых спортсменов.

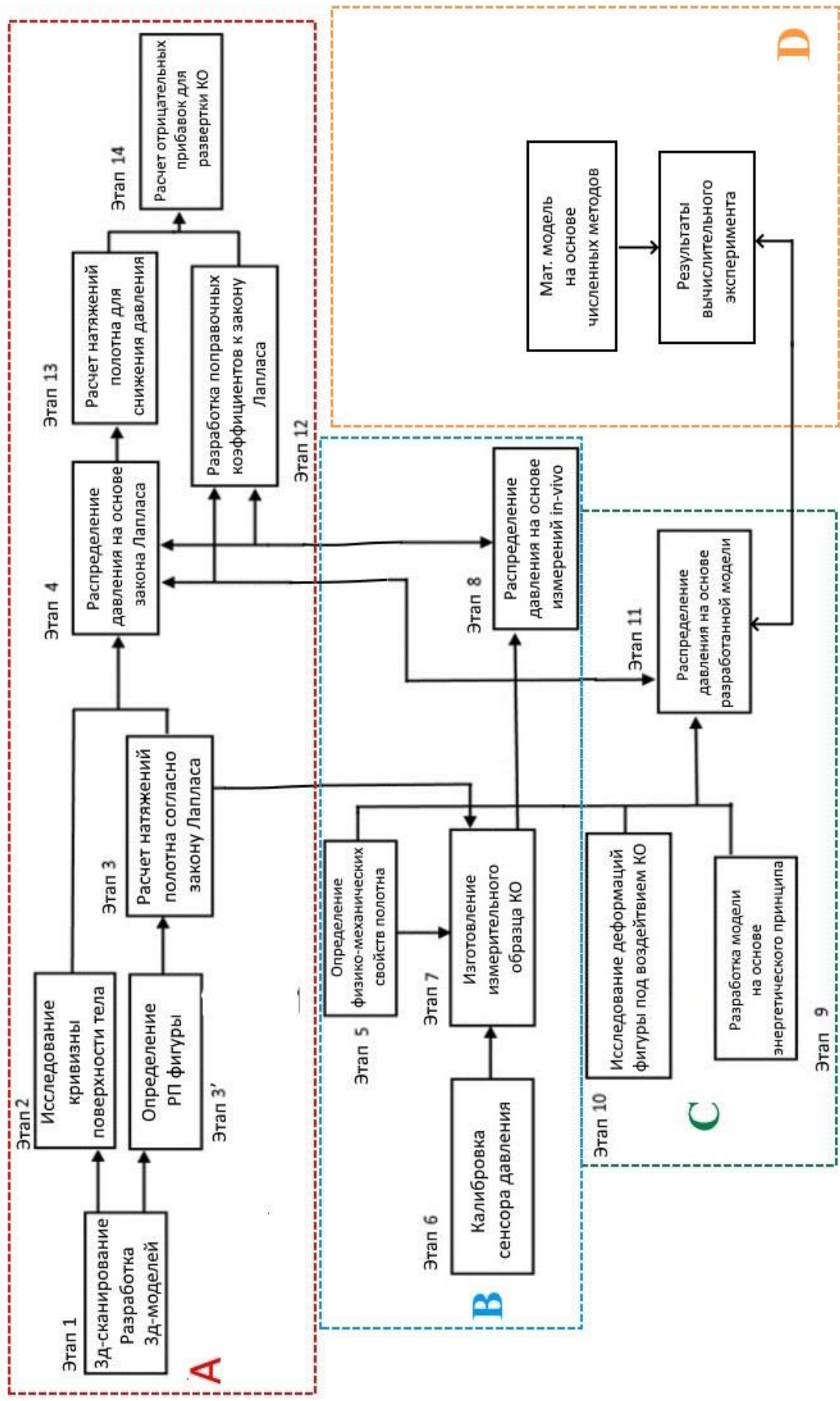


Рисунок 2.1 - Схема планирования эксперимента

Таблица 2.1 – Параметры исследуемых спортсменов (N = 34)

Параметр Характеристика		1	2	3	4	5
		Рост, см	Обхват груди, см	Обхват талии, см	Обхват бедер, см	Индекс Пинье
1	Среднее	178.4 ± 5.6	121.67 ± 9.30	89.15 ± 3.16	106.13 ± 5.96	21.35
2	Разброс	170.5-188.2	95.60 – 138.90	79.80 - 98.23	94.90 – 115.20	-38.8 - 45.24

Трехмерное сканирование проведено с помощью 3d-сканеров Kinect 360 и Artec Eva. Статическое положение спортсменов регистрировалось следующим образом: человек стоит прямо, без напряжения с привычной осанкой, ноги выпрямлены в коленях и слегка раздвинуты, руки отведены на некоторую минимальную величину, при которой не происходит «слияние» боковых частей торса с руками человека.

Полученные трехмерные модели в формате .obj отредактированы в программе ReconstructMe, MeshLab и Space Claim Direct Modeler (SCDM) ANSYS 19.1. В качестве исследуемых выбраны 24 уровня тела человека, от нижней части лодыжки до уровня 5 см выше точки основания шеи (Рис. 2.2). При выборе исследуемых уровней установлены *значимые* и *дополнительные* уровни, от которых были отложены межуровневые промежутки вверх. В число значимых вошли уровни, на которых осуществляются измерения тела человека, используемые при проектировании одежды и/или для медицинских исследований по изучению влияния компрессионного давления на тело человека уровни обхвата лодыжки (уровень 1 на Рис. 2.2), голени (уровень 4), коленей (уровень 7), уровень наибольшего развития квадрицепсов (уровень 11), уровень обхвата бедра (уровень 12), уровень обхвата бедер с учетом выступа живота (уровень 13), уровень обхвата талии (уровень 16), обхвата груди (уровень 20), уровень наибольшего выступания лопаток (уровень 19) и уровень обхвата шеи (уровень 23) сформировали число значимых уровней. Уровни обхватов под (уровень 6) и над коленной чашечкой (уровень 8), уровень ключичной точки (уровень 22) вошли в число дополнительных уровней, так как в данных областях происходит резкое изменение кривизны поверхности тела. Оставшиеся уровни получены следующим образом: промежуток между значимыми и/или дополнительными уровнями делился на равные меньшие промежутки, при этом наибольшая длина промежутка принималась равной 8 см. Таким образом межуровневый интервал составил от 3 до 8 см.

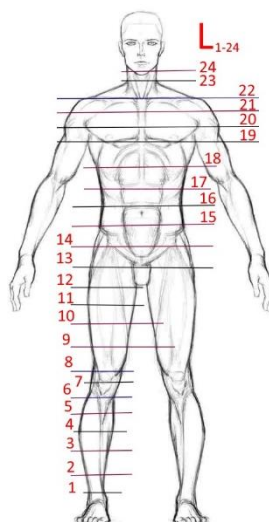
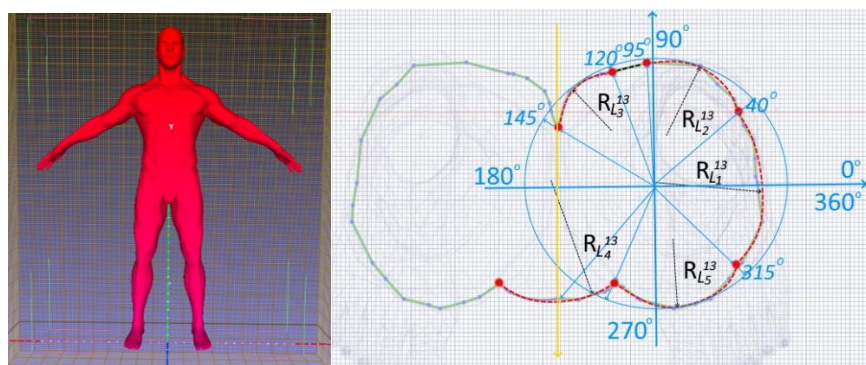


Рисунок 2.2 – Расположение исследуемых уровней тела спортсмена

Поперечные сечения тела получены на 24 выбранных уровнях, после чего измерены радиусы кривизны получившихся замкнутых кривых контуров поперечных сечений средствами SCDM ANSYS 19.1 в автоматическом режиме (инструмент «*Curvature measurement*»). Последовательность измерения радиусов кривизны поперечного сечения тела проиллюстрирована на Рисунке 2.3 на примере сечения мужской фигуры на уровне обхвата бедер, полученной 3d-модели фигуры спортсмена.



(а)

(б)

Рисунок 2.3 – Схема измерения радиусов кривизны поперечного сечения тела человека: а) 3d-модель фигуры спортсмена; б) схема сечений

При описании положения точек пересечения окружностей с различными радиусами использовались полярные координаты R_j^i и φ , где r – расстояние от точек пересечения до начала координат, называемого полюсом; φ – угол, образованный полярным лучом. Определение угловых координат произведено с помощью инструмента «*Polar coordinates*» в автоматическом режиме с помощью средств SCDM ANSYS 19.1, после определения центра полярной системы координат в ручном режиме. В качестве центра системы координат выступила точка пересечения диагоналей прямоугольника, описанного около замкнутой кривой контура поперечного сечения (Рис. 2.4).

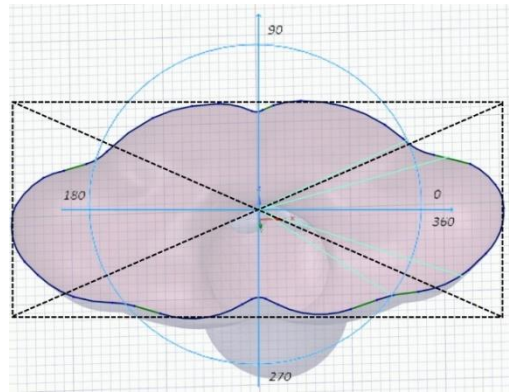


Рисунок 2.4 – Способ нахождения центра полярной системы координат

Поперечные сечения пронумерованы от L_j^1 до L_j^{24} , где j – индекс сегментов внутри поперечного сечения. Количество сегментов равнялось количеству радиусов кривизны и колебалось в диапазоне от 2 до 7 штук. Сегменты поперечных сечений пронумерованы соответственно от L_1^i до L_7^i , где i – индекс, соответствующий номеру уровня поперечного сечения (от 1 до 24 уровня). В качестве таблицы с результатами использована матрица 24 на 7. Полученные результаты представлены в Таблице 2.2.

Установлено, что не всю замкнутую кривую можно измерить методом радиусографии, поэтому получены криволинейные линии, которые можно аппроксимировать прямой линией с нулевой кривизной. Данные линии служат сопрягающими окружностей с двумя различными радиусами.

Установлено, что при определении кривизны контуров поперечных сечений возможны несколько способов описания одной и той же дуги около окружностей различного радиуса. Так, на представленном на Рисунке 2.5 (а) примере, возможно определить сегмент с длиной дуги D_1 и радиусом R_1 , а также определить сегмент с длиной дуги D_2 и радиусом R_2 . В связи с поставленными в работе целями исследования, для нивелирования негативного компрессионного воздействия трикотажной оболочки на тело человека, установлен критерий отбора *доминирующего* радиуса по показателю наименьшей кривизны среди сравниваемых дуг замкнутой кривой, так как на сегмент с меньшим радиусом приходится большее компрессионное давление.

Таблица 2.2 – Радиусы кривизны поверхности тела спортсмена, измеренных на сегментах поперечных сечений поверхности тела спортсмена

№ п/п	№ п/с	Полярные координаты сегментов п/с: ϕ – угол, образованный полярным лучом										Значение радиуса кривизны сегмента п/с						
		L_1^i	L_2^i	L_3^i	L_4^i	L_5^i	L_6^i	L_7^i	R_1^i	R_2^i	R_3^i	R_4^i	R_5^i	R_6^i	R_7^i	R_8^i	R_9^i	R_{10}^i
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16			
1	L_1^1	0-25	65-115	155-205	220-265	265-310	335-360		21,1	17,03	26,63	36,03	20,64	21,1				
2	L_1^2	0-20	90-150	150-200	260-300	335-360			52,17	38,37	31,03	21,16	52,17					
3	L_1^3	0-40	50-95	240-290					30,35	42,27	20,69							
4	L_1^4	0-50	120-170	195-230	245-280	345-360			54,45	59,88	65,25	24,28	54,45					
5	L_1^5	0-40	55-115	130-170	185-220	240-275	275-325		48,93	88,4	43,57	43,87	20,16	48,7				
6	L_1^6	15-55	105-140	190-230	240-275	285-325			38,86	50,27	50,32	22,85	38,82					
7	L_1^7	15-50	85-120	185-230	230-300	300-340			34,8	34,88	91,82	25,25	25,1					
8	L_1^8	15-55	55-90	120-150	175-210	220-265	290-330		39,03	26,83	40,53	38,14	39,44	56,95				
9	L_1^9	30-85	85-160	185-230	240-315	335-360			55,4	54,13	56,54	39,42	48,75					
10	L_1^{10}	5-40	50-105	110-140	140-170	200-240	250-305	320-355	54,38	72,85	48,34	90,74	54,4	50,7	88,95			
11	L_1^{11}	50-115	115-160	215-275	295-335				45,02	73,91	62,98	45,02						

Продолжение таблицы 2.2

<i>I</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>	<i>13</i>	<i>14</i>	<i>15</i>	<i>16</i>
12	L _г ¹²	25-50	60-115	115-150	180-220	245-295	295-320		29,6	79,78	58,37	64,54	69,77	43,05	
13	L _г ¹³	20-50	60-85	265-285	305-325	325-350	350-360		74,18	71,93	58,4	44,74	49,96	54,77	
14	L _г ¹⁴	0-15	55-95	280-300	335-360				97,08	71,93	127,19	97,08			
15	L _г ¹⁵	15-65	65-100	265-295	300-310	310-340			157,9	95,67	83,39	137,57	59,2		
16	L _г ¹⁶		65-95	270-300					122,12	38,15	76,61				
17	L _г ¹⁷	0-20	35-50	50-90	265-295	295-330	340-360		113,3	71,1	73	66,17	59,49	113,3	
18	L _г ¹⁸	30-60	60-80	280-305	305-330	330-360			65,31	158,15	84,12	125,87	124,1		
19	L _г ¹⁹	25-55	55-80	80-100	265-295	295-325			54,97	104,36	87,62	132,61	94,4		
20	L _г ²⁰	75-95	285-315						87,62	195,2					
21	L _г ²¹	65-90	265-300	300-315					68,67	109,66	256,45				
22	L _г ²²	55-90	270-305	305-345					106,82	180,13	128,58				
23	L _г ²³	10-55	55-85	275-310	335-360				125,08	69,86	30,77	49,31			
24	L _г ²⁴		45-80	295-35					31,25	27,99	35,63				

На другом примере, представленном на Рисунке 2.5 (б), возникает так называемая «зона неопределенности» в результате наложения радиусов R_1 и R_2 . При этом оба радиуса обладают сравнительно высокими показателями радиусов кривизны в данной замкнутой кривой, в связи с чем определение точки пересечений окружностей является случайным. В большинстве случаев в качестве точки пересечения выбрана середина дуги в «зоне неопределенности».

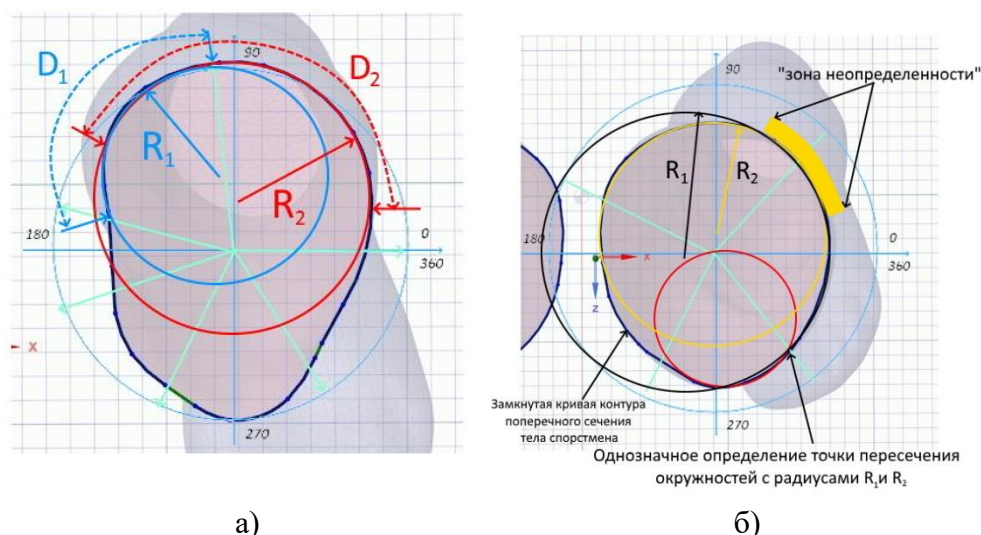


Рисунок 2.5 – Схема измерения кривизны контуров поперечных сечений

Для расчета натяжений трикотажного полотна, в соответствии с рекомендованными значениями давления и законом Лапласа, рассчитаны усредненные радиусы кривизны поверхности тела спортсмена. Данные получены посредством измерения длин аппроксимированных замкнутых кривых и последующим расчетом согласно формуле длины окружности:

$$C^i = 2\pi R_{\text{ср.}}^i \quad (7)$$

$$R_{\text{ср.}}^i = C^i / 2\pi \quad (8)$$

Также по итогам проведенного ранее в работе анализа (Глава 1, раздел 1.1), установлены рекомендованные значения давления КО на различных уровнях тела спортсмена, представленные в Таблице 2.3.

По итогам анализа данных, представленных в Таблице 2.2 и Таблице 2.3, можно сделать вывод о значительном разбросе радиусов кривизны поверхности тела, составляющих от 0.23 ($R_{\text{з}}^{23} = 30.77$, $R_{\text{ср.}}^{23} = 127.39$) до 1.15 ($R_{\text{з}}^{21} = 256.45$, $R_{\text{ср.}}^i = 225.48$) длины усредненных радиусов.

Таблица 2.3 – Расчетные усредненные радиусы кривизны поперечных сечений поверхности тела спортсмена

№ п/с (1-6)	Rⁱ_{ср.}	Pⁱ_{реком.}	№ п/с (7-12)	Rⁱ_{ср.}	Pⁱ_{реком.}
L _j ¹	35,99	2399	L _j ¹³	169.19	1530
L _j ²	37.57	2399	L _j ¹⁴	183.26	1999
L _j ³	51.83	1867	L _j ¹⁵	158.83	1150
L _j ⁴	62.51	1867	L _j ¹⁶	141.95	1150
L _j ⁵	70.20	1867	L _j ¹⁷	161.94	1150
L _j ⁶	65.27	1067	L _j ¹⁸	180.29	1150
L _j ⁷	55.04	1067	L _j ¹⁹	194.26	1067
L _j ⁸	57.86	1067	L _j ²⁰	227.17	1067
L _j ⁹	77.63	1333	L _j ²¹	225.48	1067
L _j ¹⁰	88.53	1333	L _j ²²	200.63	1067
L _j ¹¹	96.35	1067	L _j ²³	127.39	1067
L _j ¹²	105.54	1067	L _j ²⁴	36.31	1067

Полученная на данном этапе исследования база данных показателей кривизны поверхности тела спортсменов представлена в Приложении В (Табл. В.4 – В.37) и предназначена для использования в процессе проектирования КИСН на стадии расчета показателей натяжений трикотажных полотен для установления рекомендованных уровней давления компрессионных изделий.

2.1.2 Исследование давления КО на тело спортсмена in-vivo с помощью сенсоров давления

Ниже приведено описание проведения и результаты эксперимента по исследованию КД на тело спортсмена.

Проектирование экспериментального образца КО для измерения давления начато с исследования образца трикотажного полотна на растяжимость посредством разрывной машины. Структурные характеристики исследуемого образца трикотажного полотна приведены в Таблице 2.4. Полученная кривая зависимости величины натяжения трикотажного полотна от относительного удлинения представлена на Рисунке 2.6 и имеет следующий вид:

$$\sigma = 0,28\varepsilon^2 - 0,31\varepsilon + 21,18 \quad (9)$$

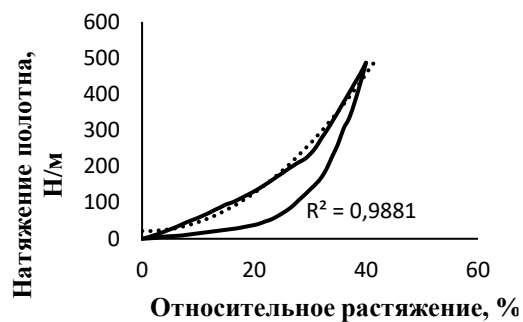


Рисунок 2.6 - Зависимость натяжения трикотажного полотна (Н/м) от относительного удлинения (%)

Таблица 2.4 – Структурные характеристики исследуемого трикотажного полотна

Показатель	Значение показателя	Изображение образца
Поверхностная плотность, г/м ²	146,50	
Количество петельных рядов на 100 мм, шт	165	
Количество петельных столбиков на 100 мм, шт	130	
Толщина ткани, мм	0,339	
Переплетение	трико	
Волокнистый состав	90% ПЭ, 10%, спандекс	

В соответствии с измерениями обхватных характеристик и рассчитанными конструктивными прибавками разработана конструкция экспериментального измерительного образца (Рис. 2.7) в 2d-САПР Gerber AccuMark для одного испытуемого (размерные признаки и выбранные прибавки представлены в Таблице 2.5) из представленной в работе выборке.

Таблица 2.5 – Размерные признаки для построения основы поясной одежды

№ п/п	Наименование РП	Значение РП	Относительная отрицательная конструктивная прибавка, %
1	Обхват талии От	89	18
2	Обхват бедер Об	110	22
3	Обхват икры Ои	44	26
4	Высота сидения Вс	28.8	
5	Длина шага (длина ноги до подъягодичной складки – Дсб – Вс)	82.5	
6	Высота колена Вк	49.7	
7	Высота икры Ви (1/2 высоты колена)	22.4	

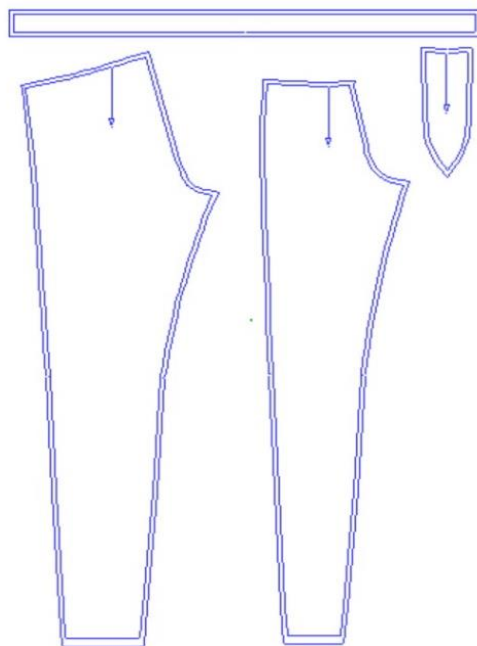


Рисунок 2.7 – Конструкция измерительного образца

Для измерения давления использован сенсор FSR 402 (Interlink Electronics, США) [67]. Для контроля погрешности изменений проведены измерительные тесты согласно рекомендованным производителем и поставщиками инструкциям [68]. График калибровочной кривой сенсора представлен на Рисунке 2.8.

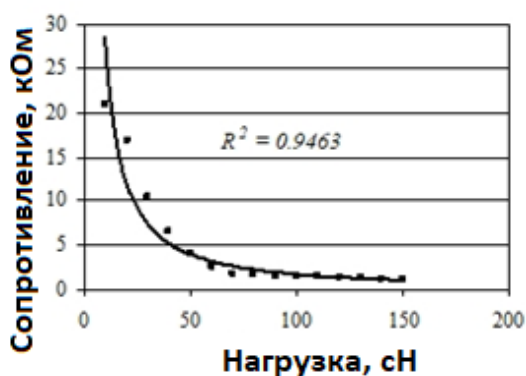


Рисунок 2.8 - График зависимости сопротивления датчика от величины нагрузки

Давление калибровочных грузов на площадку образца рассчитано в соответствии с зависимостью на Рисунке 2.8 и следующей формуле:

$$P = \frac{F}{S}, \quad (10)$$

где P – давление, оказываемое калибровочным грузом, Па; S – площадь сенсора, 10^{-2} м^2 .

Для равномерного распределения внешней силы, возникающей под воздействием силы тяжести калибровочных грузов, толщина сенсора скомпенсирована посредством помещения его в бумажную подложку с вырезанным отверстием диаметром 38 мм, равным диаметру сенсора, и толщиной 0.42 мм, равной толщине сенсора.

Точки измерения давления (Рис. 2.9) соответствуют серединам промежутков с переменной кривизной, представленным в Таблице 2.2.

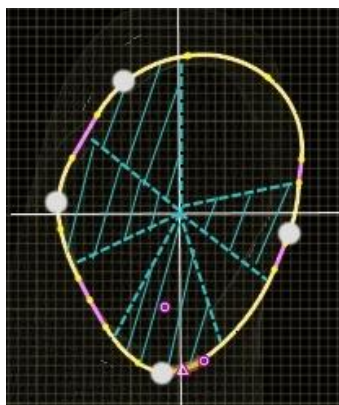
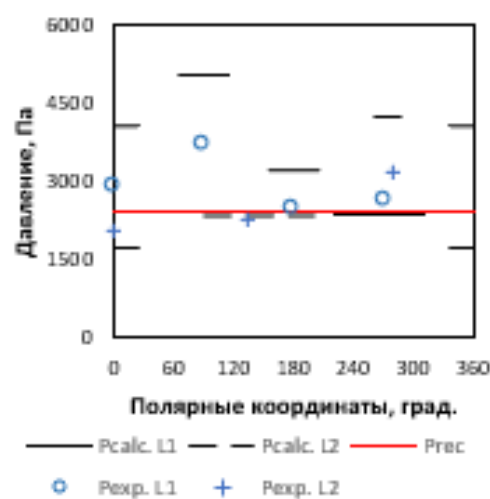


Рисунок 2.9 – Точки измерения давления, расположенные на сегментах поперечного сечения

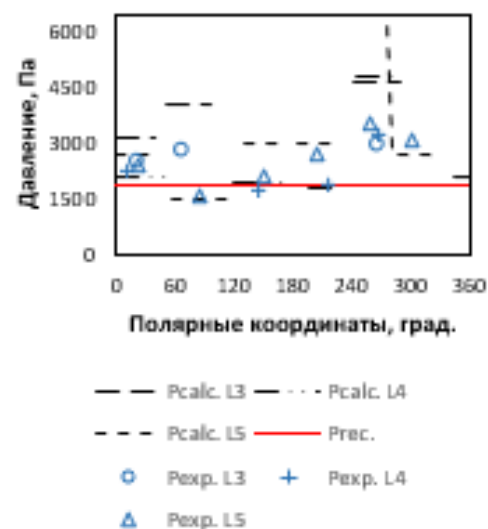
Измерения проведены в статическом положении испытуемого, как и при проведении предыдущего этапа исследования. Изменение величин электрического сопротивления, возникающего в результате давления измерительного образца КО на тело спортсмена, снималось 10 раз, после статистической обработки полученных результатов и с помощью зависимостей (2), (9), получены величины давления КО на тело спортсмена.

2.1.3 Сравнение результатов исследования давления КО на тело спортсмена: согласно закону Лапласа и полученные in-vivo

Дифференцированное распределение давления по периметру поперечных сечений тела спортсмена, полученное согласно закону Лапласа и распределение давления КО на тело спортсмена, полученное in-vivo с помощью сенсора давления FSR 402, представлены на Рисунке 2.10. Результаты, полученные согласно закону Лапласа, обозначены как $P_{calc. L1} \dots P_{calc. L24}$, результаты, полученные in-vivo обозначены $P_{exp. L1} \dots P_{exp. L24}$, рекомендованные исследователями величины давления обозначены P_{rec} . Результаты сгруппированы по областям тела спортсмена с постоянной величиной рекомендованного давления и представлены в зависимости от полярных координат.



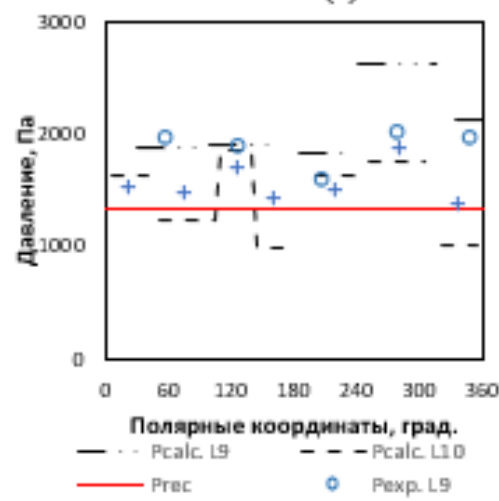
(a)



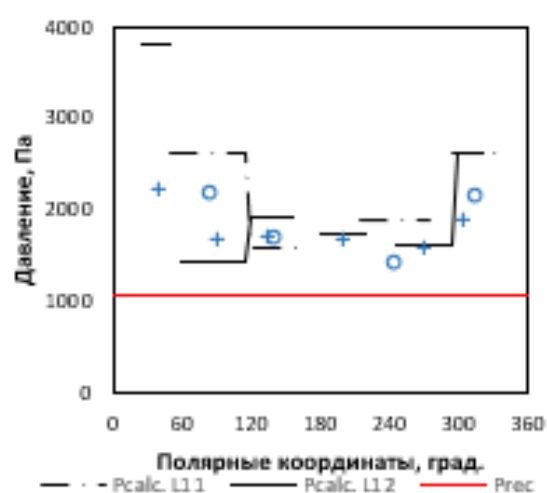
(б)



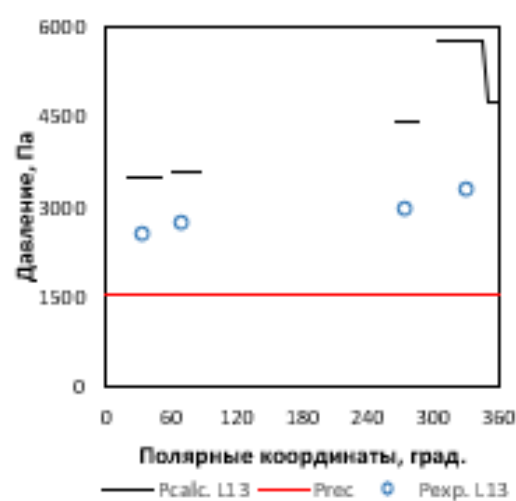
(в)



(г)



(д)



(е)

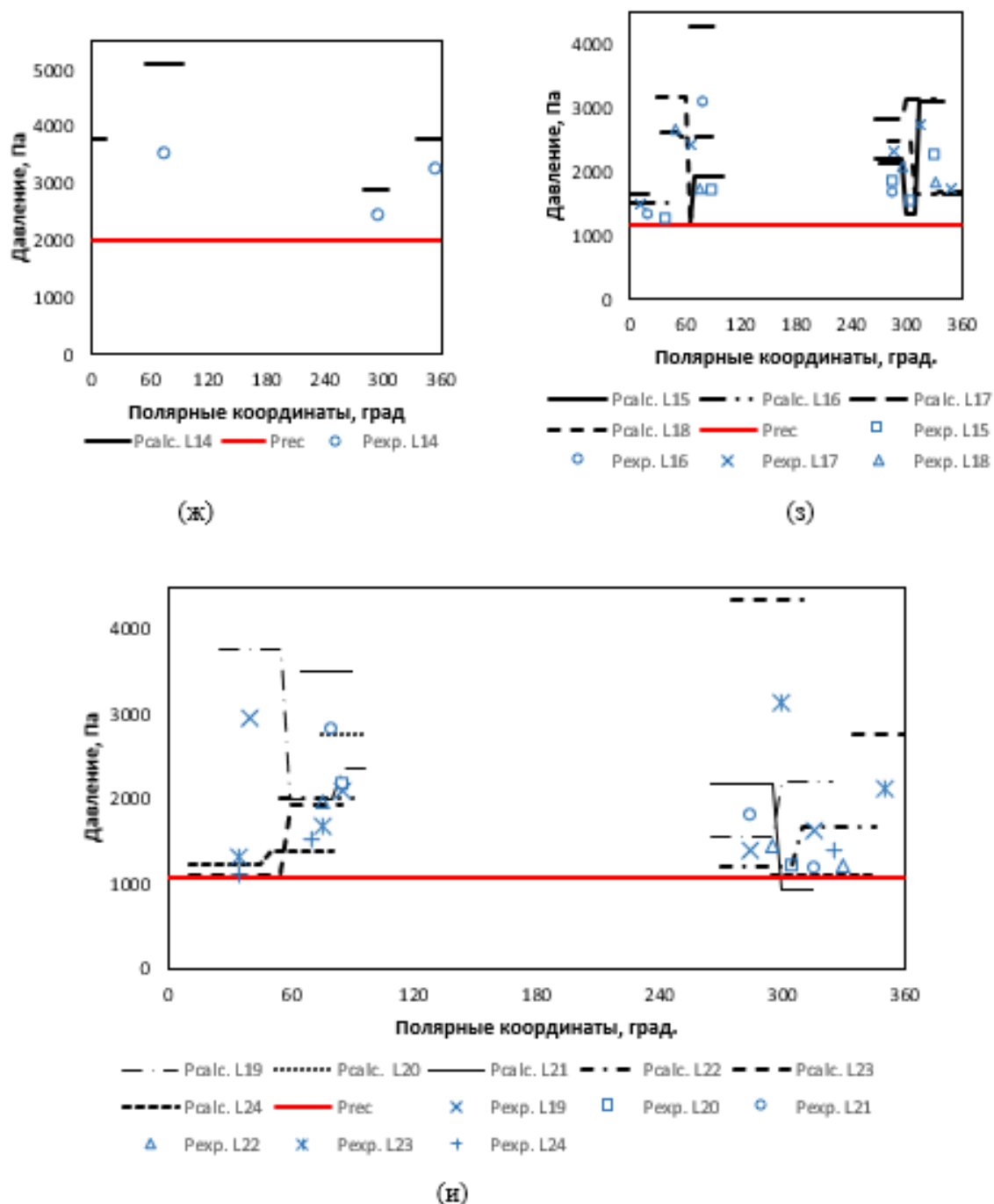


Рисунок 2.10 – Давление КО на тело спортсмена согласно закону Лапласа и полученные in-vivo для уровней: а) L1, L2, б) L3- L5, в) L6-L8, г) L9, L10, д) L11, L12, е) L13, ж) L14, з) L15-L18, и) L19-L24

Для оценки согласованности результатов исследования, полученных с помощью двух методов: с помощью закона Лапласа и измеренные in-vivo, применен метод Бленда – Альтмана (Тюки разность – среднее). Целесообразность применения данного статистического метода основана на применении в исследовании по двум методам средств, каждое из которых дает свою ошибку в измерениях. В методе прогнозирования давления согласно закону Лапласа, используется трехмерное сканирование, произведенное на

исследуемой выборке спортсменов. В методе прогнозирования давления in-vivo используется сенсор давления. Кроме того, данный метод имеет приоритет над корреляционным и регрессионным анализом по причине того, что даже при наличии высокого коэффициента корреляции существует довольно значительная неопределенность предсказания зависимой переменной. При этом не определено, что в исследовании считать зависимой переменной, а что независимой [124].

Предварительно проведен статистический анализ на нормальность распределения полученных в выборке значений с помощью критерия Колмогорова – Смирнова. Результаты оценки согласованности двух методов прогнозирования давления, выполненной с помощью метода Бленда – Альтмана представлены на Рисунке 2.11. Согласно полученным данным, смещение (bias) составило -346.7, стандартная ошибка среднего 62.28 при среднеквадратичном отклонении, равном 616.53. Установлено, что разница между парными измерениями имеет тенденцию к увеличению при увеличении среднего значения. Можно сказать, что смещение является значительным, потому что линия равенства не находится в пределах доверительного интервала средней разницы.



Рисунок 2.11 - График (plot) Бленда – Альтмана для оценки согласованности двух результатов исследования, полученных расчетным путем согласно закону Лапласа и in-vivo

Анализируя полученные данные, можно сделать вывод о превышении значений давлений КО на тело спортсмена, полученных согласно закону Лапласа, над данными, полученными с помощью сенсора давления в пределах 25 – 40 %.

В результате выдвинута гипотеза о наличии двух причин, обуславливающих стабильное превышение результатов, полученных согласно закону Лапласа, над данными, полученными in-vivo:

- влиянии приборной погрешности измерений;
- влиянии деформационных характеристик мягких тканей спортсмена на результаты исследования.

2.2 РАЗРАБОТКА ЭКСПРЕСС-МЕТОДА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ КОМПРЕССИОННОГО ДАВЛЕНИЯ

Проектирование новых моделей одежды на промышленных предприятиях накладывает временные ограничения на срок их запуска в производство. Использование научных результатов исследований должно быть представлено в максимально компактном виде (формулы, таблицы, базы данных). С учетом этого, для прогнозирования величин КД с высокой степенью достоверности получаемых данных, разработан экспресс-метод на основе математической модели прогнозирования КД согласно энергетическому принципу, учитывающей взаимовлияние растяжения компрессионной оболочки и тела спортсмена. Энергетический принцип заключается в равенстве энергии, выделяемой при растяжении замкнутой трикотажной оболочки, надеваемой на тело спортсмена, и энергии, выделяемой человеком при сдавливании мягких тканей тела компрессионной одеждой.

2.2.1 Математическая модель прогнозирования компрессионного давления на основе энергетического принципа

При надевании спортсменом компрессионного изделия (КИ) выделяется энергия сжатия:

$$E_{bt} = - \int_{t_0}^t p dt = \int_t^{t_0} p dt, \quad (11)$$

где E_{bt} – энергия сжатия компрессионным изделием (КИ) поверхности тела спортсмена, Дж; p – давление, оказываемое компрессионным изделием на тело спортсмена, Па; t_0 – поперечный диаметр сегмента тела спортсмена без КИ, м; t – поперечный диаметр сегмента тела спортсмена после надевания КИ, м.

Поперечный диаметр сегмента тела спортсмена после надевания КИ представляет собой многочлен n -ой степени, постоянные коэффициенты в котором могут быть найдены экспериментально:

$$t = f(p) = a_0^1 + a_1^1 p + \dots + a_n^1 p^n \quad (12)$$

В соответствии с этим преобразуем (11):

$$E_{bt} = \int_p^{p_0} p(a_1^1 + 2a_2^1 p + \dots + na_n^1 p^{n-1}) dp = \int_p^0 (a_1^1 p + 2a_2^1 p^2 + \dots + na_n^1 p^n) dp =$$

$$= -\left(\frac{a_1^1}{2} p^2 + \frac{2a_2^1}{3} p^3 + \dots + \frac{na_n^1}{n+1} p^{n+1}\right) \quad (13)$$

Энергия, выделяемая высокоэластичным трикотажным полотном при растяжении, в процессе надевания КИ на тело спортсмена может быть представлена в виде:

$$E_{kf} = -\int_{\varepsilon_0}^{\varepsilon} \sigma d\varepsilon = \int_{\varepsilon}^{\varepsilon_0} \sigma d\varepsilon \quad (14)$$

где E_{kf} – энергия растяжения высокоэластичного трикотажного полотна (ВТП), Дж; σ – натяжение полотна, Н/м; ε_0 – теоретическое удлинение при растяжении ВТП, м; ε – эмпирическое удлинение при растяжении ВТП, м.

Теоретически заданное (начальное) удлинение ВТП может быть найдено по формуле:

$$\varepsilon_0 = \pi t_0 - \pi t_0 \left(1 - \frac{r}{100}\right) = \pi t_0 \frac{r}{100}, \quad (15)$$

где r – величина заужения ВТП, %.

Конечное удлинение при растяжении ВТП в свою очередь может быть найдено по формуле:

$$\varepsilon = \pi t - \pi t_0 \left(1 - \frac{r}{100}\right) = \pi \left(t_0 \frac{r}{100} - \Delta t\right), \quad (16)$$

где Δt – поперечная деформация тела человека, м.

$$\sigma = f(\varepsilon) = a_0^2 + a_1^2 \varepsilon + \dots + a_n^2 \varepsilon^n \quad (17)$$

В соответствии с этим преобразуем (14):

$$E_{kf} = \int_{\varepsilon}^{\varepsilon_0} a_0^2 + a_1^2 \varepsilon + \dots + a_n^2 \varepsilon^n d\varepsilon =$$

$$= a_0^2(\varepsilon_0 - \varepsilon) + \frac{a_1^2}{2}(\varepsilon_0^2 - \varepsilon^2) + \dots + \frac{a_n^2}{n+1}(\varepsilon_0^{n+1} - \varepsilon^{n+1}) \quad (18)$$

Так как

$$E_{bt} = E_{kf} \quad (19)$$

То давление может быть найдено при решении следующего уравнения:

$$\frac{na_n^1}{n+1} p^{n+1} + \dots + \frac{2a_2^1}{3} p^3 + \frac{a_1^1}{2} p^2 + a_0^2(\varepsilon_0 - \varepsilon) + \frac{a_1^2}{2}(\varepsilon_0^2 - \varepsilon^2) +$$

$$\dots + \frac{a_n^2}{n+1}(\varepsilon_0^{n+1} - \varepsilon^{n+1}) = 0 \quad (20)$$

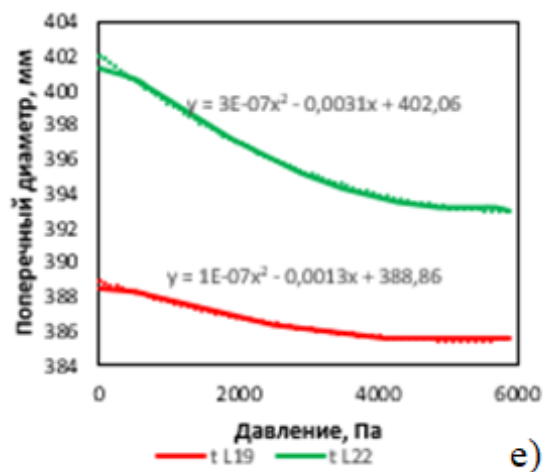
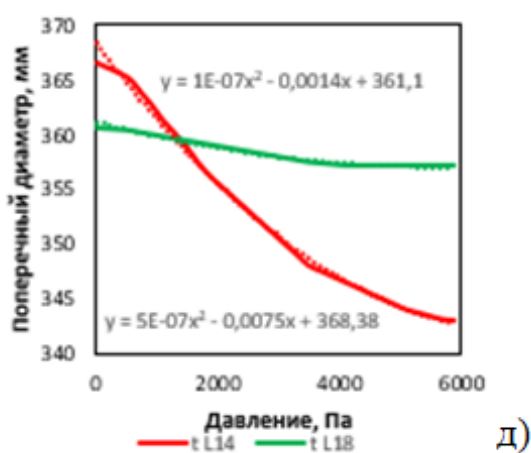
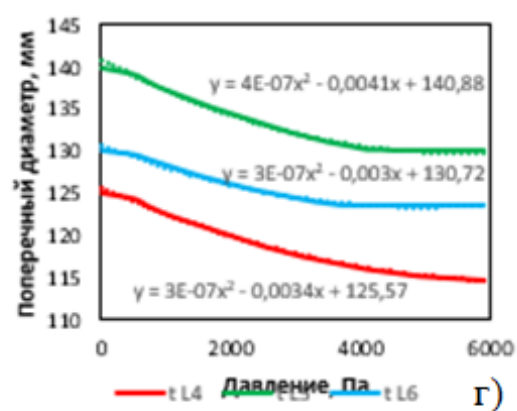
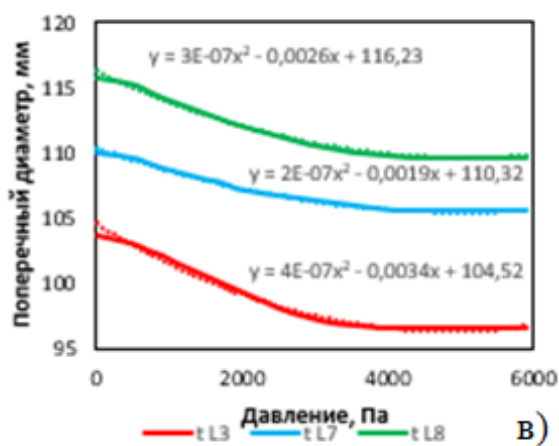
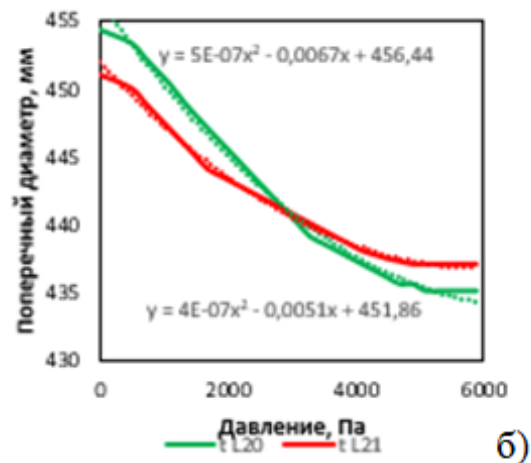
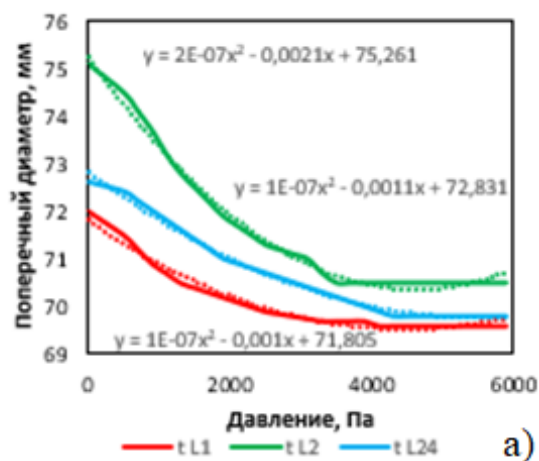
2.2.2 Влияние деформационных характеристик мягких тканей спортсмена на измерение компрессионного давления

Наполнение разработанной модели базами данных подразумевает получение показателей деформационных характеристик мягких тканей спортсмена. Для определения наиболее рациональных методов получения исходных данных разработанной математической модели распределения компрессионного давления по поверхности тела спортсмена, проведен анализ существующих методов исследования деформационных свойств тела человека.

Существует два метода идентификации механических свойств мягких тканей. Первый состоит из механических испытаний *in vitro/ex vivo*, включающий испытания на растяжение и сжатие [128]. Этот метод позволяет дифференцировать различные типы тканей (жировую, мышечную и т.д.). Другая возможность заключается в определении механических свойств тканей *in-vivo* путем прямых измерений. Благодаря этому методу можно охарактеризовать механические свойства мышечной ткани, например, во время сокращения, что невозможно при использовании методов *ex-vivo*. По итогам проведенного анализа установлена приоритетность приведенного метода.

Измерение деформаций мягких тканей тела спортсмена, начального и конечного удлинения трикотажной оболочки проведено в одном эксперименте по следующей схеме. Первоначально выкроен образец трикотажного полотна шириной 10 см – измерительный «пояс». Такая ширина не является необходимой, так как измерения снимались каждые 3 - 8 см, как указано ранее, но увеличенная ширина образца выбрана для минимизации возможных искажений измерений в верхнем и нижнем краях. Фиксация образца трикотажного полотна осуществлена посредством гибкой спицы длиной в 8 см. Таким образом можно осуществлять непрерывное изменение величины натяжения полотна, без необходимости изготавливать сшитый пояс для каждого вертикального уровня тела и относительной величины заужения (72 шт).

Деформации мягких тканей тела спортсмена определены посредством непрерывного заужения измерительного пояса до получения значений электрического сопротивления, соответствующие согласно (25), (27) значениям давления 500, 1000, ... 5500, 6000 Па. При этом при данных значениях давления измерялся обхват поперечного сечения в данной области. Конечное удлинение трикотажного полотна при надевании на деформируемую поверхность тела спортсмена найдено контактным способом с помощью измерительной нити. Результаты исследования деформационных характеристик мягких тканей тела спортсмена при воздействии компрессионного давления в диапазоне 500 – 6000 Па представлены на Рисунке 2.12.



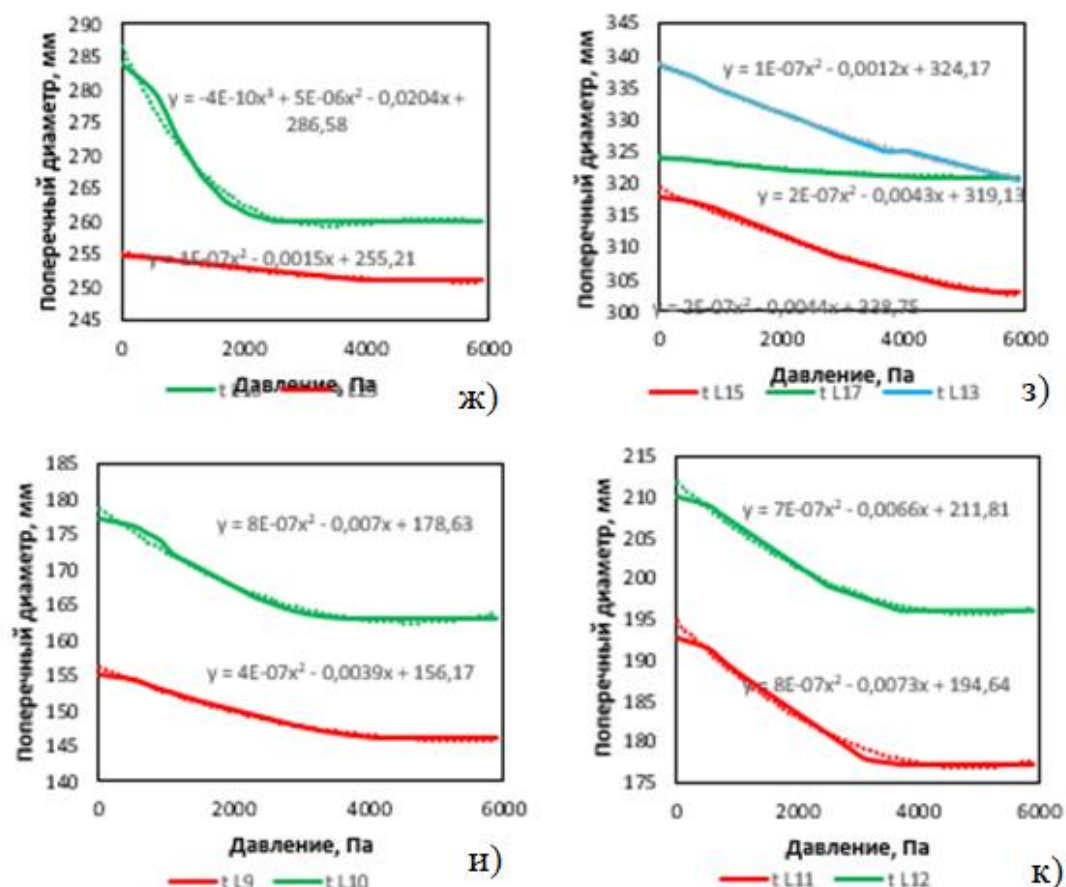


Рисунок 2.12 – Деформации поперечных диаметров поверхности тела спортсмена при воздействии компрессионного давления для уровней: а) L1, L2, L24, б) L20- L21, в) L3, L7-L8, г) L4, L5, L6, д) L14, L18, е) L19, L22 ж) L23, L16, з) L15, L17, L13, и) L9-L10, к) L11-L12

Проведенный анализ полученных данных показал, что степень деформации тела человека различна в зависимости от области прикладываемого давления. Так, наибольшему воздействию подвержены области больших ягодичных мышц (L14), икроножных мышц (L4), область четырехглавых мышц бедра (L10) и область живота (L15 и L16). Наименьшей деформацией обладает область грудной клетки (ребер): уровни L17 – 19, а также области колена, лодыжки и верхняя часть грудной клетки (область ключицы). Область груди L20 – 21 при этом обладает достаточно высоким процентом деформации, предположительно по причине развития грудных мышц, а также большой круглой и большой ромбовидной мышц спины.

Полученные в результате исследования данные предназначены для использования в качестве исходной информации разработанной математической модели прогнозирования компрессионного давления одежды на тело спортсмена.

2.3 ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДАВЛЕНИЯ КОМПРЕССИОННОЙ ОБОЛОЧКИ СПОРТИВНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Верификация разработанной модели экспресс-прогнозирования давления КИСН на тело спортсмена подразумевает сравнение теоретических и экспериментальных данных. В силу проведенного в главе 1 анализа (раздел 1.1.5) и произведенной в главе 2 оценке точности измерения компрессионного давления одежды на тело человека с помощью сенсоров давления, является целесообразным сравнение теоретических (расчетных) результатов с результатами вычислений некоторой адекватной математической модели. По итогам проведенного в главе 1 анализа теоретических методов исследования компрессионного давления (раздел 1.1.3), предложено проведение численного моделирования компрессионного давления.

Получение представления о математической модели на основе численных методов возможно в результате реализации вычислительного моделирования последней. С учетом данных, изложенных в [168], и оценке точности проведения натурных экспериментов с помощью сенсоров давления (в главе 1, раздел 1.1.5, и по итогам экспериментов в разделе 2.1 главы 2), основные этапы вычислительного моделирования включают в себя:

- проведение натурального эксперимента;
- накопление экспериментальных данных;
- построение математической модели;
- построение математической модели на основе численных методов;
- выбор и применение численного метода для нахождения решения;
- автоматическое построение программной реализации математической модели;
- автоматизированное нахождение численного решения;
- автоматизированное преобразование вычислительных результатов в форму, удобную для анализа;
- обработка результатов вычислений;
- сравнение с результатами натурального эксперимента;
- сравнение результатов, полученных расчетным путем, и вычислительных результатов на основе численных методов;
- принятие решения о продолжении натурных экспериментов;
- продолжение натурального эксперимента для получения данных, необходимых для уточнения модели;
- оценка адекватности предлагаемой математической модели.

С целью разработки математической модели, описывающей взаимосвязь между деформациями упругой тонкостенной оболочки под действием приложенного напряжения для численного моделирования, рассмотрим случай, когда трикотажное полотно покрывает кожу человека. Эластичная оболочка играет роль полотна, а эластичный объект, который представляет собой цилиндр, играет роль человеческого тела. Описанная ситуация находится под действием напряжения сжатия.

Линия рассуждений, которой необходимо следовать, чтобы приблизиться к решению поставленной проблемы, заключается в том, чтобы взять дифференциал исследуемой поверхности, который приведет к установлению уравнения в частных производных для всего объекта. Таким образом, продолжая численное решение системы уравнений в частных производных, будет получена динамика основной ситуации.

При разработке модели принимались во внимание рассуждения, приведенные в «Дифференциальных уравнениях механики твердого тела» [169], где дифференциальные уравнения относятся к динамике твердых тел, а также к поведению при деформации при определенных условиях напряжения. Требованием к модели является возможность рассмотрения нескольких случаев: разных материалов, разной геометрии, граничных условий и возможность настройки калибровочных параметров.

2.3.1 Двумерный случай

Первым этапом рассмотрим одномерный случай одноосного растяжения. Рассмотрим дифференциальный элемент длиной Δx и площадью поперечного сечения A на Рисунке 2.13.

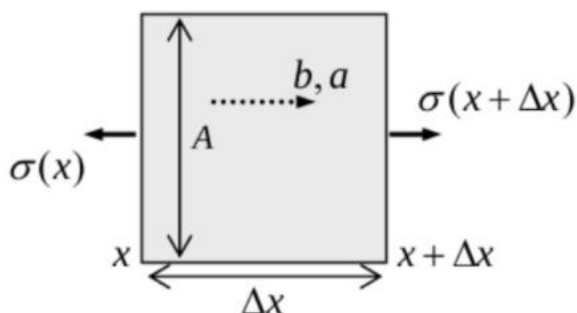


Рисунок 2.13 – Дифференциальный элемент

Пусть напряжение, действующее на элемент, равно σ , средняя сила тела на единицу объема b , среднее ускорение a и плотность ρ .

Предполагая, что элемент мал, можно предположить, что сила на единицу объема и скорость имеют линейную зависимость, а их среднее значение может действовать в центре масс элемента.

Применяя второй закон Ньютона, получаем равенство (1),

$$\sigma(x + \Delta x)A - \sigma(x)A + bA\Delta x = \rho A\Delta x a \quad (21)$$

$$\Rightarrow$$

$$\frac{\sigma(x + \Delta x) - \sigma(x)}{\Delta x} + b = \rho a \quad (22)$$

и переходя к пределу при $\Delta x \rightarrow 0$, получаем 1 – мерное уравнение движения (3)

$$\frac{d\sigma}{dx} + b = \rho a \quad (23)$$

2.3.2 Трехмерный случай

Тело человека в процессе физической нагрузки часто подвергается большим деформациям и имеет нелинейный характер механических характеристик. В частности, мышечные ткани демонстрируют ортотропное и вязкоупругое механическое поведение [125]. Очень часто мягкие ткани рассматриваются как гиперэластичные материалы [126]. Несколько определяющих уравнений были разработаны для описания поведения гиперэластичных материалов [127]. Основное определяющее уравнение, описывающее механический отклик изотропного гиперэластичного материала, в процессе компрессионного воздействия представляет собой функцию плотности энергии деформации эластомерного образца:

$$\bar{W} = c_{10}(\bar{I}_1 - 3) + D_1(J - 1)^2 = \bar{W}_i + \bar{W}_o, \quad (24)$$

где $\bar{W}$ – функция плотности энергии деформации, $\bar{I}_1$ – определитель градиента деформации, $D_1 = \frac{\lambda}{2}$ – коэффициент сжимаемости (или объемный модуль), λ – первый параметр Ламе, c_{10} – коэффициент упругости, пропорциональный второму параметру Ламе – модулю сдвига μ . Эта функция плотности энергии деформации состоит из изохорной и объемной частей.

Необходимо отметить, что построение математических моделей на основе приведенного уравнения является предпочтительным для точного моделирования малых деформаций мягких тканей человека.

Трехмерный случай в системе трех несвязанных дифференциальных уравнений в частных производных (25) представляет собой:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{xz}}{\partial z} + b_x = \rho a_x \\ \frac{\partial \sigma_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{yz}}{\partial z} + b_y = \rho a_y \\ \frac{\partial \sigma_{zx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{zy}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{zz}}{\partial z} + b_z = \rho a_z \end{array} \right. \quad (25)$$

где σ_{ij} , $i, j \in \{x, y, z\}$ – элементы тензора напряжений $\sigma \in M_{3 \times 3}(\mathbb{R})$, а b_i , a_i , $i \in \{x\}$ – компоненты силы на единицу объема и ускорение $b, a \in \mathbb{R}^3$ соответственно.

Систему уравнений (25) можно записать в более компактном виде (26).

$$\nabla \cdot \sigma + b = \rho \partial_t^2 x \quad (26)$$

Последнее уравнение известно как уравнение эластодинамики, где ρ – плотность материала, b – сила на единицу объема, а σ – тензор напряжений.

В случае изотропной линеаризованной упругости тензор напряжений связан со смещением соотношением (27), где (28) и (29) – коэффициенты Ламе как функция модуля Юнга E и коэффициента Пуассона ν .

$$\sigma = \lambda \text{tr}(\epsilon) 1 + 2\mu \epsilon \quad (27)$$

$$\lambda = \frac{E\nu}{(1+\nu)(1-2\nu)} \quad (28)$$

$$\mu = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad (29)$$

2.3.3 Вычислительное моделирование. Численный подход

Для реализации этого уравнения в вычислительном моделировании можно использовать дискретизацию по времени с помощью обобщенного α -метода [170]. В этом разделе обрисован общий процесс, для избежания ненужных деталей для поставленных целей.

Рассмотрим временной интервал $[0, T]$, разделенный на конечные временные шаги $t_0 = 0, t_1, \dots, t_N, T_{N+1}$ и временной шаг $\Delta t = T/N$.

Дискретизированный вариант уравнения эластодинамики принимает вид (30), где $C = \eta KM + \eta KK$ – затухание Рэлея,

$$v^T M u'' + v^T K u = v^T F \quad \forall v \in \mathbb{R}^n \quad (30)$$

поэтому метод заключается в нахождении решения u уравнения динамики (31) на заданном временном интервале $[0, T]$, где использовано обозначение $X_{n+1-\alpha} = (1-\alpha) X_{n+1} + \alpha X_n$,

$$M u''_{n+1-\alpha_m} + C u'_{n+1-\alpha_f} + K u_{n+1-\alpha_f} = F(t_{n+1-\alpha_f}) \quad (31)$$

Уравнение (31) может быть решено с помощью приближений к смещению и скорости, чтобы получить окончательную систему дифференциальных уравнений (32).

$$\begin{aligned} \bar{K} u_{n+1} = F(t_{n+1-\alpha_f}) - \alpha_f K u_n - C(c_1 u_n + c_2 u'_n + c_3 u''_n) - \\ M(m_1 u_n m_2 u'_n m_3 u''_n) \end{aligned} \quad (32)$$

где $\bar{K} = K + c_1 C + m_1 M$, а $c_1, c_2, c_3, m_1, m_2, m_3$ – коэффициенты, зависящие от калибровочных параметров $\alpha_m, \alpha_f, \gamma, \beta$.

2.3.4 Компьютерная программа

Для решения системы дифференциальных уравнений, описывающих компрессионное воздействие трикотажной оболочки на трехмерное упругое тело (человека) разработано ПО на основе Python 3.9 (см. Приложение Г). Код разработан с позиции описания физических представлений о сохранении энергии и обмене энергией во время компрессионного воздействия оболочки на тело. Кроме того, в коде можно обеспечить запрос широкого спектра графиков в зависимости от конечных целей, касающихся граничных условий, типов материалов с их свойствами или другой геометрии.

В приложении Г представлены рекомендации по инсталляции и настройке кода на системах Windows и Linux (Ubuntu).

Как упоминалось ранее, код может быть изменен для самых разных случаев. В качестве примера интересующей модификации выбрано создание цилиндрической геометрии в коде. Можно написать следующие строки:

```
#Making a cylindrical geometry
mesh = Cylinder(Point(0, 0, -1), Point(0, 0, 1), 0.5, 0.5)
geometry = mesh
# Making Mesh (40 corresponds to the mesh density)
mesh = generate_mesh(geometry, 40)
```

и в зависимости от интересующих случаев можно изменять граничные условия, калибровочные параметры, начальные условия и свойства материалов.

Рассмотрим случай компрессионного воздействия трикотажной оболочки на упругое тело цилиндрической формы. Параметры материала трикотажной оболочки (физико-механические свойства) для образца №3 представлены в Приложении Д (Табл. Д.3 и Табл. Д.4). Материал тела цилиндрической формы задан двумя параметрами: модулем Юнга и коэффициентом Пуассона.

Расчет величин давления производился в результате изменения эластической компоненты энергии, образованной в результате растяжения трикотажной оболочки и кинетической компоненты энергии, образованной в результате сжатия тела, моделирующего сжатие мягких тканей тела спортсмена. Демпфирующая составляющая в моделировании равна нулю.

Исходя из результатов, представленных на Рисунке 2.14, при изменении параметров материала изменяется не только величина давления, но и характер формирования результирующей величины давления. Так, в случае, показанном на Рисунке 2.14а, смоделировано компрессионное воздействие трикотажной оболочки на относительно твердое тело (коэффициент Пуассона равен 0.42). В этом случае растяжение трикотажной

оболочки играет ведущую роль в формировании компрессионного давления на начальном интервале времени. В случае же задания мягкого тела (коэффициент Пуассона равен 0.49 при максимально возможном значении, равному 0.50) превалирует кинетическая компонента (Рис. 2.14 б), что объясняется недостаточной растяжимостью трикотажной оболочки.

По итогам расчетов (Табл. 2.6), полученных по предлагаемому в работе экспресс-методу и полученных в результате использования разработанного программного обеспечения для решения дифференциальных уравнений, установлена высокая степень адекватности математической модели на основе энергетического принципа, а метод прогнозирования КД, основанный на данной модели, рекомендован к использованию в процессе проектирования КОСН.

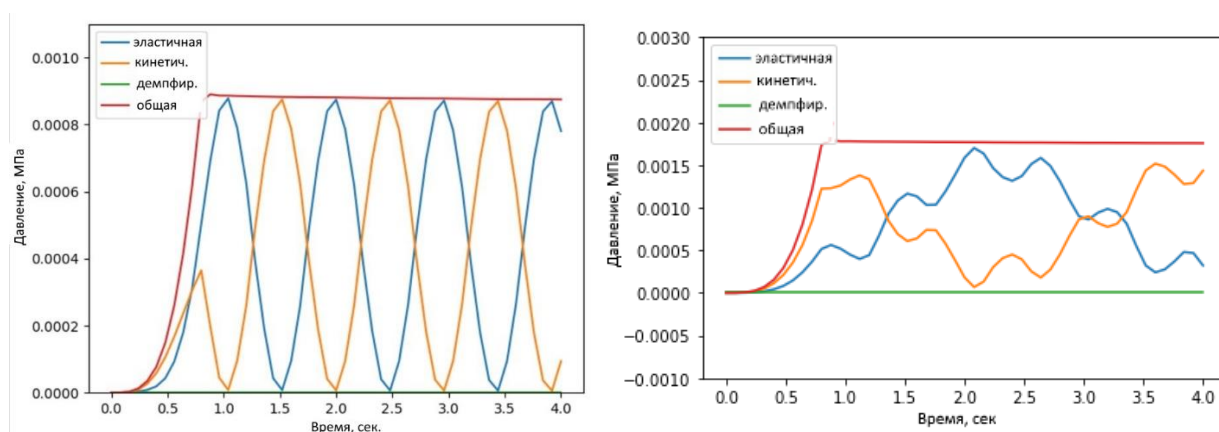


Рисунок 2.14 – Зависимость изменения компонент энергии и результирующей величины давления от времени: а) коэффициент Пуассона = 0.49, модуль Юнга = 0.05 МПа б) коэффициент Пуассона = 0.42, модуль Юнга = 0.05 МПа

Таблица 2.6 – Сравнение значений давления, полученных с использованием экспресс-метода и модели на основе численных методов

№ п/п	Параметры упругого тела (человека)		P_E ($r=20$), Па	P_{FEM} ($r=20$), Па
	коэф. Пуассона	модуль Юнга, МПа		
1	0.42	0.05	2036	1821
2	0.49	0.05	967	873

2.3.5 Сравнение результатов исследования давления КО на тело спортсмена: согласно закону Лапласа и на основе разработанной модели

Для проверки гипотезы о влиянии деформационных характеристик мягких тканей спортсмена на результаты исследования, проведено теоретическое исследование давления КО на тело спортсмена согласно разработанному экспресс-методу прогнозирования КД.

В результате проведенного исследования деформации мягких тканей спортсмена получены регрессионные зависимости деформационных характеристик поперечных диаметров тела спортсмена вида (12), использованные для получения уравнений энергии сжатия вида (13). Согласно полученной ранее зависимости натяжения трикотажного полотна от относительного удлинения и согласно выражениям для натяжения полотна (17) и энергии растяжения полотна (18) получены выражения для величин компрессионного давления вида (20). Некоторым технически усложняющим моментом является необходимость получения зависимостей вида (9), где независимой переменной выступает величина абсолютного удлинения, а не относительного. В связи с этим для расчета показателей давления, согласно (20) для каждого из 24 уровней зависимость, представленная на Рисунке 2.12 преобразована по формуле:

$$\varepsilon_0^i = 2\pi \frac{\varepsilon_{\text{отн}}}{100} R_{\text{ср}}^i \quad (33)$$

Величины КД, полученных при решении соответствующих уравнений вида (20) представлены в Таблице 2.7.

Для сравнительного анализа полученных данных также применен метод Бленда – Альтмана (Рис. 2.13). Согласно полученным данным смещение (bias) составило 718.5, стандартная ошибка среднего 122.86 при среднеквадратичном отклонении, равном 1042.53. Установлено, что разница между парными измерениями имеет тенденцию к увеличению при увеличении среднего значения. Можно сказать, что смещение является значительным, потому что линия равенства не находится в пределах доверительного интервала средней разницы.

В результате анализа полученных данных установлено, что значения, рассчитанные согласно закону Лапласа, выше полученных согласно энергетическому принципу, на 20 – 70 %.

Среди причин данной несогласованности результатов исследования, полученных согласно двум рассматриваемым методам, можно выделить наличие сразу трех причин: приборную погрешность сенсора давления, погрешность измерения обхватных характеристик с помощью измерительной ленты, а также влияние деформационных характеристик мягких тканей спортсмена.

Таблица 2.7 – Сравнение значений давления, полученных согласно энергетическому принципу и по закону Лапласа

№ п/п	№ уровня	$P_E (r=10)$	$P_E (r=20)$	$P_E(r=30)$	$P_L(r=10)$	$P_L(r=20)$	$P_L(r=30)$	$P_{rec.}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	L_j^1	1082	2181	3281	1611	3638	6500	2399
2	L_j^2	1018	2064	2942	1543	3484	6223	2399
3	L_j^3	958	1912	2435	1119	2528	4517	1867
4	L_j^4	712	1364	2153	928	2096	3744	1867
5	L_j^5	563	1098	1921	826	1866	3333	1867
6	L_j^6	648	1284	2063	888	2006	3583	1067
7	L_j^7	864	1387	2290	1055	2382	4255	1067
8	L_j^8	981	1289	2119	1002	2266	4048	1067
9	L_j^9	624	1109	1983	747	1688	3015	1333
10	L_j^{10}	512	1161	1872	678	1532	2737	1333
11	L_j^{11}	440	966	1604	602	1359	2427	1067
12	L_j^{12}	393	991	1543	550	1242	2218	1067
13	L_j^{13}	222	728	1108	343	774	1383	1530
14	L_j^{14}	218	693	1088	316	714	1277	1999
15	L_j^{15}	244	815	1246	365	825	1474	1150
16	L_j^{16}	290	904	1232	408	922	1648	1150
17	L_j^{17}	319	831	1197	358	809	1445	1150
18	L_j^{18}	286	799	1153	322	728	1300	1150
19	L_j^{19}	293	682	988	299	675	1206	1067
20	L_j^{20}	266	582	917	255	485	1032	1067
21	L_j^{21}	285	547	964	261	493	1040	1067
22	L_j^{22}	322	571	972	289	655	1170	1067
23	L_j^{23}	405	723	1244	457	1031	1843	1067
24	L_j^{24}	983	1159	1918	1611	3639	6446	1067

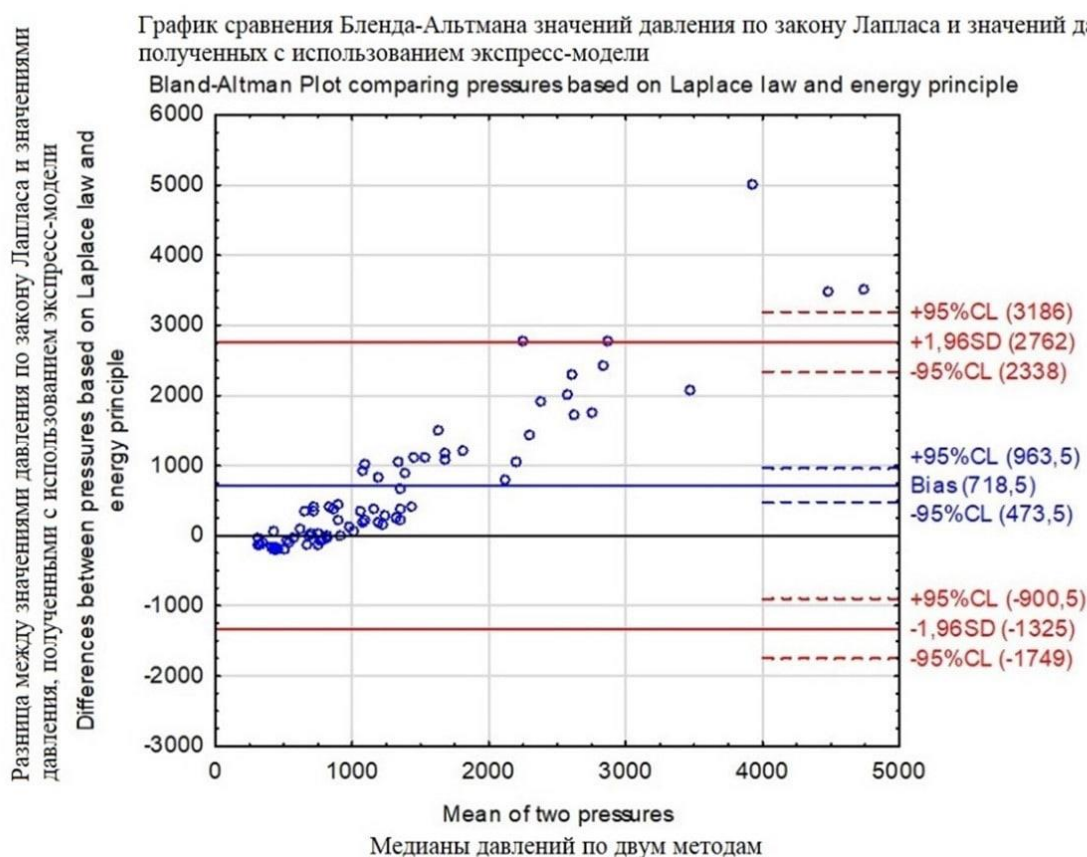


Рисунок 2.13 – График Бленда – Альтмана для оценки согласованности результатов исследования, полученных по двум методам

При этом последняя упомянутая причина вносит положительный вклад в оценку точности измерений компрессионного давления, так как закон Лапласа для тонкостенных оболочек вращения не учитывает деформацию оболочки и ее свойства. Остальные упомянутые причины вносят отрицательный вклад в оценку точности измерения компрессионного давления, и должны быть учтены при использовании связанных с ними средств исследования.

Принимая во внимание все вышесказанное, сделан вывод о возможности применения закона Лапласа в процессе проектирования компрессионной одежды немедицинского (в т.ч. спортивного) назначения, с учетом поправочных коэффициентов (ПК). Значения ПК могут учитывать приборную погрешность датчиков давления, а также деформационные характеристики мягких тканей спортсмена.

2.4 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГЕТЕРОГЕННЫХ КОМПРЕССИОННЫХ ОБОЛОЧЕК СО СВОЙСТВАМИ ГИБРИДНОЙ ЭЛАСТИЧНОСТИ

2.4.1 Разработка поправочных коэффициентов к закону Лапласа для прогнозирования компрессионного давления

С целью использования закона Лапласа при разработке гетерогенных компрессионных оболочек спортивного назначения разработан перечень ПК, представленный в Таблице 2.8, одна часть которого базируется на проведенном in-vivo исследовании с учетом проведенного обзорного анализа точности измерений компрессионного давления. Поправочные коэффициенты в этой части обозначены k_d . Вторая часть перечня ПК основана на проведенном исследовании компрессионного давления согласно энергетическому принципу, учитывающему деформационные характеристики мягких тканей тела спортсмена и представлена для двух величин заужения – $r=10$ и $r=20$ %. Данные поправочные коэффициенты обозначены k_i .

С учетом коррекции закона Лапласа (2), произведенной в результате проведенной серии экспериментов, формула взаимосвязи давления КО на тело спортсмена с характеристиками трикотажного полотна и размерными признаками тела принимает вид:

$$P = k_{i/d} \frac{\sigma}{R}, \quad (34)$$

где $k_{i/d}$ - поправочный коэффициент.

Таблица 2.8 – Поправочные коэффициенты к закону Лапласа

№	Значение поправочного коэффициента			№	Значение поправочного коэффициента		
	k_i ($r = 10\%$)	k_i ($r = 20\%$)	k_d		k_i ($r = 10\%$)	k_i ($r = 20\%$)	k_d
L_j^1	0.67	0.60	0.76	L_j^{13}	0.65	0.84	0.72
L_j^2	0.66	0.59	0.78	L_j^{14}	0.68	0.77	0.61
L_j^3	0.85	0.76	0.74	L_j^{15}	0.67	0.78	0.76
L_j^4	0.77	0.65	0.69	L_j^{16}	0.71	0.78	0.74
L_j^5	0.68	0.59	0.64	L_j^{17}	0.79	0.81	0.78
L_j^6	0.73	0.64	0.65	L_j^{18}	0.79	0.80	0.79
L_j^7	0.82	0.58	0.89	L_j^{19}	0.84	0.81	0.70
L_j^8	0.97	0.57	0.73	L_j^{20}	0.64	0.78	0.72
L_j^9	0.83	0.66	0.88	L_j^{21}	0.69	0.81	0.76
L_j^{10}	0.76	0.76	0.71	L_j^{22}	0.71	0.87	0.82
L_j^{11}	0.73	0.71	0.74	L_j^{23}	0.78	0.78	0.79
L_j^{12}	0.71	0.80	0.63	L_j^{24}	0.86	0.32	0.88
				k_{cp}	0.75	0.71	0.75

2.4.2 Расчет натяжений трикотажных полотен для прогнозирования компрессионного давления согласно закону Лапласа

С учетом данных, полученных на предыдущих этапах работы, произведен расчет натяжений трикотажных полотен (Табл. 2.9), позволяющих снизить чрезмерное компрессионное давление на участках с большей, чем средней по каждому из 24 уровней поперечных сечений тела спортсмена, кривизной поверхности тела.

Таблица 2.9 – Средние величины натяжений трикотажного полотна, необходимые для достижения рекомендованных исследователями величин давления

№ п/с	Полярные координаты конструктивных членений сегментов п/с						Натяжение ВТП в различных сегментах п/с для обеспечения рекомендованных величин давления, Н/м						
	L ₁ ⁱ	L ₂ ⁱ	L ₃ ⁱ	L ₄ ⁱ	L ₅ ⁱ	L ₆ ⁱ	T ₁ ⁱ	T ₂ ⁱ	T ₃ ⁱ	T ₄ ⁱ	T ₅ ⁱ	T ₆ ⁱ	T
L ₁ ¹	0-25	65-115					50.60	40.87					<u>86.34</u>
L ₁ ²				260-300						50.78			<u>90.13</u>
L ₁ ³	0-40	50-95	240-290				56.67	78.92	38.63				<u>96.77</u>
L ₁ ⁴				245-280						45.33			<u>116.7</u>
L ₁ ⁵	0-40		130-170	185-220	240-275	275-325	91.35		81.35	81.90	37.64	90.92	<u>131.06</u>
L ₁ ⁶	15-55	105-140	190-230	240-275	285-325		41.46	53.64	53.69	24.38	41.42		<u>69.64</u>
L ₁ ⁷	15-50	85-120	185-340				37.13	37.22	26.86				<u>58.73</u>
L ₁ ⁸	15-55	55-90	120-150	175-265			41.65	28.63	43.25	40.70			<u>61.74</u>
L ₁ ⁹				240-315	335-360					52.55	64.98		<u>103.48</u>
L ₁ ¹⁰													<u>118.01</u>
L ₁ ¹¹	50-115	115-160	215-275	295-335			48.04	78.86	67.20	48.04			<u>118.01</u>
L ₁ ¹²	25-50	60-150	180-220	245-295	295-320		31.58	85.13	62.28	74.44	45.93		<u>112.6</u>
L ₁ ¹³	20-50	60-85	265-285	305-325	325-350	350-360	74,18	71,93	58,4	44,74	49,96	54,77	<u>258.86</u>
L ₁ ¹⁴	0-15	55-95	280-300	335-360			97,08	71,93	127,19	97,08			<u>366.33</u>
L ₁ ¹⁵	15-65	65-100	265-295	300-310	310-340		157,9	95,67	83,39	137,57	59,2		<u>182.65</u>
L ₁ ¹⁶	0-40	65-95	270-300				122,12	38,15	76,61				<u>163.24</u>
L ₁ ¹⁷	0-20	35-50	50-90	265-295	295-330	340-360	113,3	71,1	73	66,17	59,49	113,3	<u>186.23</u>
L ₁ ¹⁸	30-60	60-80	280-305	305-330	330-360		65,31	158,15	84,12	125,87	124,1		<u>207.33</u>
L ₁ ¹⁹	25-55	55-80	80-100	265-295	295-325		54,97	104,36	87,62	132,61	94,4		<u>207.28</u>
L ₁ ²⁰	75-95	285-315					87,62	195,2					<u>242.3</u>
L ₁ ²¹	65-90	265-300	300-315				68,67	109,66	256,45				<u>240.59</u>
L ₁ ²²	55-90	270-305	305-345				106,82	180,13	128,58				<u>214.07</u>
L ₁ ²³	10-55	55-85	275-310	335-360			125,08	69,86	30,77	49,31			<u>135.93</u>
L ₁ ²⁴	10-45	45-80	295-35				31,25	27,99	35,63				<u>38.74</u>

Полученные данные предназначены для расчета относительных отрицательных прибавок КО, используемых на стадии разработки разверток компрессионной одежды.

2.4.3 Разработка базы относительных отрицательных конструктивных прибавок

В Таблице 2.10 представлены относительные отрицательные конструктивные прибавки для 24 уровней тела спортсмена, полученные с использованием кривых растяжения трикотажных полотен с компрессионными свойствами, распределению кривизны поверхности тела спортсмена, распределению натяжений трикотажных полотен, необходимых для разработки гетерогенных компрессионных оболочек. Прибавки рассчитаны с учетом поправочных коэффициентов, полученных с использованием модели прогнозирования на основе энергетического принципа. Средние величины заужений, не учитывающие кривизну поверхности тела спортсмена, обозначены ε^i . Новые предлагаемые в данной работе относительные отрицательные прибавки для обеспечения рекомендуемых величин давления обозначены с нижними и верхними индексами. Соответствие их полярным координатам можно найти в Таблице 2.2. При этом прибавки на значимых уровнях для проектирования спортивной одежды в условиях промышленного производства соответствующе выделены. Прибавки на уровнях 1 – 15 предназначены для проектирования поясных изделий – тайтсов, леггинсов, шорт, гольфов и т.д. Прибавки на уровнях 13 – 24 предназначены для проектирования плечевых изделий – рашгардов, футболок и т.д.

Таблица 2.10 – Распределение относительных величин заужения для обеспечения постоянного давления на рекомендуемых уровнях тела спортсмена согласно закону Лапласа

№ п/с	Относительная отрицательная конструктивная прибавка, %							№ п/с	Относительная отрицательная конструктивная прибавка, %						
	ε_1^i	ε_2^i	ε_3^i	ε_4^i	ε_5^i	ε_6^i	ε^i		ε_1^i	ε_2^i	ε_3^i	ε_4^i	ε_5^i	ε_6^i	ε^i
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
ε_j^1	<u>9.5</u>	<u>9</u>					<u>13.8</u>	ε_j^{13}	<u>9.3</u>	<u>9.5</u>	<u>8.1</u>	<u>7.6</u>	<u>7.7</u>	<u>8.6</u>	<u>21.7</u>
ε_j^2				9.4			13.3	ε_j^{14}	12.0	9.1	14.0	12.0			25.7
ε_j^3	10.9	10.6	6.6				14.0	ε_j^{15}	15.7	10.9	10.4	14.9	8.2		17.6
ε_j^4				6.8			15.0	ε_j^{16}	<u>13.6</u>	<u>5.4</u>	<u>9.7</u>				<u>16.1</u>
ε_j^5	11.4		11.2	11.3	6.4	11.4	15.4	ε_j^{17}	15.7	11.9	12.1	11.2	10.2	16.7	21.8
ε_j^6	7.0	8.4	8.4	6.9	7		10.7	ε_j^{18}	11.1	18.7	12.6	14.9	14.7		22.3
ε_j^7	<u>8.2</u>	<u>6.2</u>	<u>4.2</u>				<u>10.6</u>	ε_j^{19}	9.7	14.8	13.0	17.5	14.7		22.3
ε_j^8	7.0	4.6	7.4	6.9			10.7	ε_j^{20}	<u>10.9</u>	<u>17.5</u>					<u>21.7</u>

Продолжение таблицы 2.10

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
ε_j^9				8.2	8.6		13.7	ε_j^{21}	10.5	12.2					20.5
ε_j^{10}							15.2	ε_j^{22}	13.0	18.4	14.1				20.7
ε_j^{11}	<u>7.4</u>	<u>8.0</u>	<u>9.4</u>	<u>7.4</u>			<u>15.2</u>	ε_j^{23}	13.8	10.7	7.0	8.6			17.8
ε_j^{12}	5.8	10.7	8.7	10.4	7.0		14.6	ε_j^{24}	5.6	4.6	6.9				8.5

2.4.4 Обобщенная схема процесса проектирования гетерогенных компрессионных оболочек спортивного назначения со свойствами гибридной эластичности

Представленная на Рисунке 2.14 схема иллюстрирует 2 способа проектирования компрессионных изделий, в результате которого возможно изготовления изделия на вязальном оборудовании или кроеным способом.

Отличительной особенностью процесса проектирования является использование цифровых «облаков» данных, наряду с базами данных физико-механических свойств трикотажных полотен и деформационных характеристик мягких тканей спортсмена. Под цифровым «облаком» в процессе проектирования предполагается модель данных, в котором базе взаимосвязанных полярных координат, описывающих конфигурацию фигуры спортсмена, ставится в соответствие база данных: радиусов кривизны, напряжений, значений КД, показателей ПК к закону Лапласа, натяжений и относительных растяжений трикотажного полотна.

При изготовлении изделия на вязальном оборудовании, в программу изделия закладывается цифровое «облако» натяжений трикотажного полотна; при изготовлении кроеным способом, для изготовления необходимо получить перечень отрицательных конструктивных прибавок, для чего следует воспользоваться информацией о физико-механических свойствах трикотажных полотен, описывающей взаимосвязь натяжений и относительных растяжений материалов.

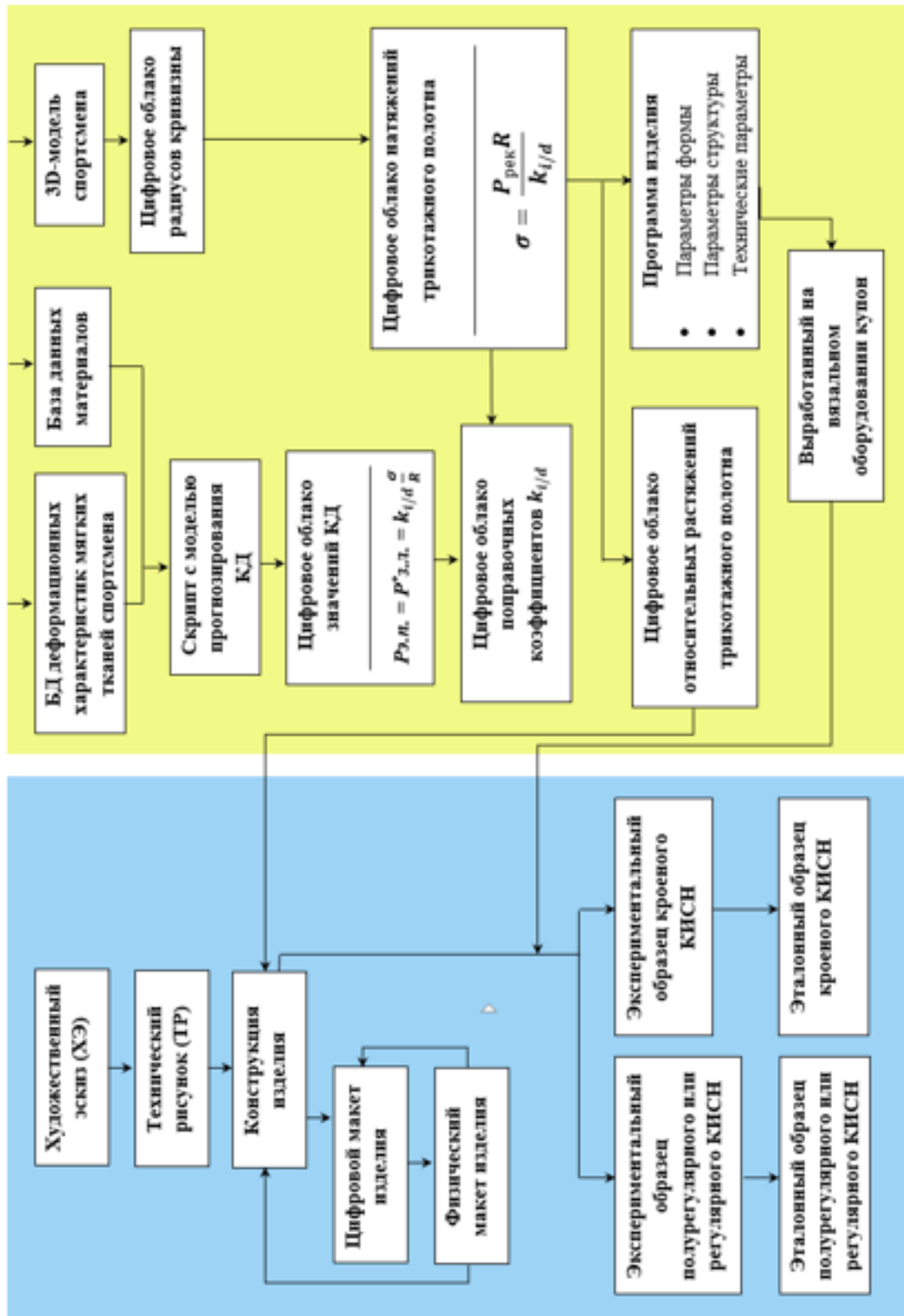


Рисунок 2.14 – Обобщенная схема проектирования гетерогенных компрессионных оболочек со свойствами гибридной эластичности

Выводы по 2 главе:

1. Получено топографическое распределение кривизны поверхности тела спортсмена с применением технологии 3d-сканирования. Установлено, что тело спортсмена имеет сложную кривизну поверхности, доступную для аппроксимации семействами концентрических окружностей переменного радиуса и участками с нулевой кривизной.

2. В результате исследования обхватных характеристик тела спортсмена установлено распределение натяжений трикотажных полотен, применяемых в производстве компрессионной одежды, для установления рекомендованных значений давлений согласно закону Лапласа.

3. Установлено превышение значений давлений согласно закону Лапласа, полученных в результате экспериментальной оценки согласованности результатов со значениями, полученными по методу *in-vivo*.

4. В результате проведенного обзорного анализа установлено, что при использовании в исследованиях компрессионной одежды немедицинского назначения сенсоры давления обладают погрешностью в пределах 29 – 33%, получаемой вследствие дрейфа выходного напряжения во времени из-за перенастройки частиц внутри пьезорезистивного полимера, а также из-за вязкоупругой природы полимерной подложки.

5. В результате исследования давления согласно разработанной модели, основанной на энергетическом принципе и учитывающей деформацию мягких тканей тела спортсмена, установлено статистически достоверное превышение значений давления, полученных согласно закону Лапласа, в пределах 30% в среднем.

6. В результате проведенного исследования деформационных характеристик мягких тканей тела спортсмена, установлено распределение деформаций поперечных диаметров в зависимости от величины прикладываемого компрессионного давления.

7. 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 проведения вычислительных экспериментов в системе «компрессионная оболочка – тело человека»;

8. 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.

9. Получено распределение относительных отрицательных конструктивных прибавок, использование которых позволяет обеспечить распределение постоянного по величине рекомендованного давления по периметру поперечных сечений поверхности тела спортсмена.

10. 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.

Результаты, полученные в данных исследованиях, призваны обеспечить выполнение компрессионной спортивной одеждой своей функции, что позволит повысить эргономические характеристики данных изделий в условиях эксплуатации и удовлетворенность потребителями качеством приобретаемой продукции.

ГЛАВА 3. ФОРМИРОВАНИЕ ВХОДНОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ПРОЦЕССА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВЫСОКОФУНКЦИОНАЛЬНОЙ КОМПРЕССИОННОЙ ОДЕЖДЫ СПОРТИВНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Анализ работ в области исследования компрессионных изделий (КИ), проведенный в Главе 1, свидетельствует об отсутствии каких-либо научно-обоснованных доказательствах их эффективности, кроме снижения вибрации мышц. При этом упомянутый эффект достигается уменьшением мышечной активности, что определяется снижением амплитуды получаемого сигнала на электромиограмме, и таким образом, вызывает сомнение востребованности свойства снижения осцилляции мышц в КИ немедицинского назначения.

В существующем состоянии процесса проектирования компрессионной одежды, давление трикотажной оболочки оказывается на все структурные элементы тела человека: кожу, жировую прослойку, связки и суставы, органы, мышцы, кости. При этом положительные эффекты от воздействия компрессионных изделий возможны только в процессе биохимических процессов в мышечных тканях спортсмена, а также биомеханического воздействия компрессионного давления на связки и суставы [112-115].

Возникает необходимость в изучении механизмов повышения эффективности компрессионных изделий спортивного назначения не только за счет обеспечения равномерного компрессионного воздействия трикотажной оболочки на тело человека на соответствующих антропоморфологических уровнях, но и в изучении возможностей обеспечения изолированного воздействия компрессионного давления на мышечный и опорно-двигательный аппарат.

В работе предложено использовать компрессионную способность эластичных трикотажных полотен с целью повышения мышечной активности спортсмена. Принцип действия компрессионных изделий с функцией повышения мышечной активности основан на зонировании компрессионного воздействия трикотажной оболочки на тело спортсмена. Зональное распределение основано на изучении мышечной карты, механизмов действия мышечного аппарата, а также выявления наиболее активных в процессе физической нагрузки мышц.

3.1 БИОМЕХАНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СПОРТСМЕНА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ АНТРОПОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ И АНТРОПОДИНАМИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ ФИГУРЫ

В процессе эксплуатации спортивные плотнооблегающие изделия испытывают кручение, изгиб, сдвиг, а также растяжение и сжатие. Первые три деформации оказывают наибольшее негативное влияние на стабильность изделия, под которым подразумевается соответствие зон изделия зонам поверхности тела спортсмена. Для обеспечения «стабильности» изделия в процессе эксплуатации предлагается обеспечить высокое адгезионное взаимодействие изделия из трикотажного полотна и поверхности тела по контурам зонального распределения компрессионного воздействия. В качестве адгезионного слоя предложено наносить силиконосодержащие вещества на внутреннюю поверхность изделия.

Разработка контурных карт распределения АП по внутренней поверхности КИ основана на выделении ключевых миофасциальных цепей, участвующих в выполнении определенного упражнения (или набора упражнений).¹

Основными критериями принципа разработки миофасциальных цепей являются наличие связанности между мышцами посредством соединительной ткани, а также непрерывность линий распространения напряжений. Первый упомянутый критерий может быть выполнен только при выполнении тщательного анализа анатомического строения тела человека. Выполнение второго же критерия предлагается обеспечить выполнением биомеханического анализа мышечной системы с применением принципов архитектурного анализа.

Для определения направления векторов силы, формирующихся в процессе сокращения мышц, изучена мышечная архитектура тела человека [129]. Термин мышечная архитектура определен как способ физического расположения мышечных волокон на макроскопическом уровне, который определяет механическую функцию мышцы. Производство и передача силы изменяются в зависимости от различных видов геометрического строения мышцы. Некоторые параметры, используемые в архитектурном анализе, включают длину мышц (L_m), длину волокон (L_f), угол наклона (θ) и физиологическую площадь поперечного сечения (PCSA).

¹ Миофасциальные цепи – компонентные наборы мышц и покрывающих их фасций, по которым передается межмышечное напряжение.

Сила, образуемая в результате сокращения мышечных волокон, направлена под определенным углом к сухожильной силе (Рис. 3.1):

$$F_{mf} = F_t \cos \theta, \quad (35)$$

где F_{mf} – сила мышечных волокон, F_t – сухожильная сила, $\cos \theta$ – угол наклона мышечных волокон.

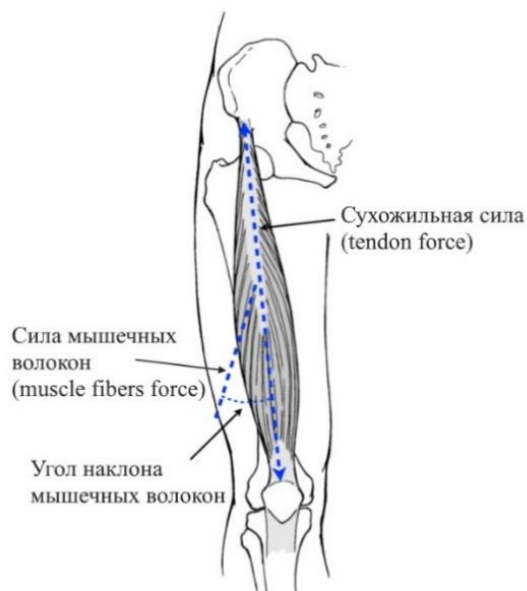


Рисунок 3.1 – Направление сил в мышечной структуре

Аппроксимация совокупности множества векторов сил мышечных волокон возможна с использованием векторов сухожильной силы. В качестве сравнительной характеристики предложено использовать наклон пучка прямых, в качестве количественного показателя – абсолютный угол наклона пучка прямых, характеризующий направление мышц.

С целью формирования программы биомеханических исследований для определения карты миофасциальных соединений, проведен анализ наиболее часто встречающихся упражнений с различными видами нагрузок: аэробной, анаэробной, смешанным видом нагрузок. По результатам анализа определены 27 упражнений, составляющих тренировочную базу для высокоинтенсивных функциональных тренировок (Crossfit), занятий калистеникой, стронгмэн – тренировками, гимнастикой и составлены их фазовые схемы движения (табл. 3.1, Приложение Ж, Табл. Ж.2).

Таблица 3.1 – Фазовые схемы движения фундаментальных упражнений высокоинтенсивных функциональных тренировок (фрагмент)

№	Название упражнения	Фазовые схемы движений
1	Упражнение с канатами	

Биомеханические исследования проведены в 2 этапа:

1 этап. Проведен биомеханический анализ тренировочной деятельности спортсмена в процессе выполнения 27 упражнений и определены мышцы, совершающие биомеханические действия (мышцы-двигатели), мышцы-синергисты, а также суставы, участвующие в процессе сгибания/разгибания конечностей. Анализ проведен с помощью среды MUSCLE&MOTION (Табл. 3.2, Приложение Ж, табл.Ж.1).

2 этап. Исследованы взаимосвязи векторов сухожильных сил спортсмена в процессе выполнения им биомеханических движений с помощью ПО OpenSIM и MUSCLE&MOTION.

Таблица 3.2 – Определение мышц, участвующих в совершении биомеханических движений в процессе спортивной нагрузки (фрагмент)

№	Название упражнения	Мышцы-двигатели	Мышцы-синергисты	Суставы	
				Сгибание	Разгибание
1	Упражнение с канатами	Брюшные мышцы Мышца, выпрямляющая позвоночник Большая ягодичная мышца Дельтовидная мышца (передняя дельтовидная мышца) Широчайшая мышца спины	Трапецевидная мышца Двуглавая мышца плеча Большая грудная мышца, реберный отдел Большая круглая мышца Мышцы задней поверхности бедра	Коленный	Тазобедренный

Как указано ранее, в качестве количественного показателя связанности векторов сухожильных сил, возникающих в процессе биомеханических движений, выступили абсолютные углы наклона, которые представляют собой углы наклона сегментов тела относительно некоторого фиксированного ориентира в окружающей среде (Рис. 3.2) [130]. Данный тип угла описывает ориентацию сегмента в пространстве. В качестве фиксированного ориентира обычно выступают вертикальные или горизонтальные прямые. В данном исследовании в качестве ориентира выбрана горизонтальная прямая в правой части плоскости.

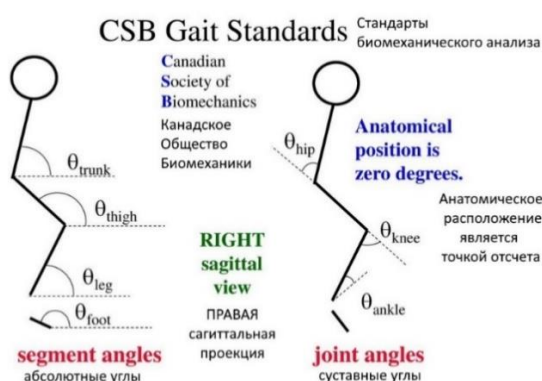


Рисунок 3.2 – Стандарты биомеханического анализа посредством измерения абсолютных и суставных углов [130]

Определение абсолютных углов наклона производилось с помощью программных средств OpenSIM [131], предназначенной для биомеханического анализа и моделирования, а также Muscle&Motion, предназначенной для мускулоскелетного анализа человека в процессе спортивной деятельности (Рис.3.3). При работе в ПО OpenSIM использованы только наиболее часто используемые крупномасштабные модели. Для исследования мышечных моделей, включающих лопаточные и ключичные движения можно использовать следующие полноразмерные модели: шведская модель плеча [132-134], модель плеча и локтя Делфта [135-136], модель плеча Ньюкасла [137], модель верхней конечности Хольцбаура (Рис.3.4) [138], модель верхней конечности [139], модель Гарнера [140], модель Дикерсона [141]. Установлено, что работа с данными моделями ограничена с позиции фазовых схем движения, а также видов соединений мышц. При этом количество мышц, включенных в работу при выполнении биомеханических движений, ограничено не более 3, что явно недостаточно для описания сложносоставных спортивных упражнений. Поэтому далее исследование взаимозависимости векторов сухожильных сил проведено в среде MUSCLE&MOTION. Фазовые схемы спортсмена в процессе выполнения спортивных упражнений, полученные в среде MUSCLE&MOTION, и предназначенные для биомеханического анализа приведены в Приложение Ж (Рис. Ж.4).



Рисунок 3.3 – Расположение скелетных мышц на примере фазовых схем движения (упражнение – приседания) в среде MUSCLE&MOTION

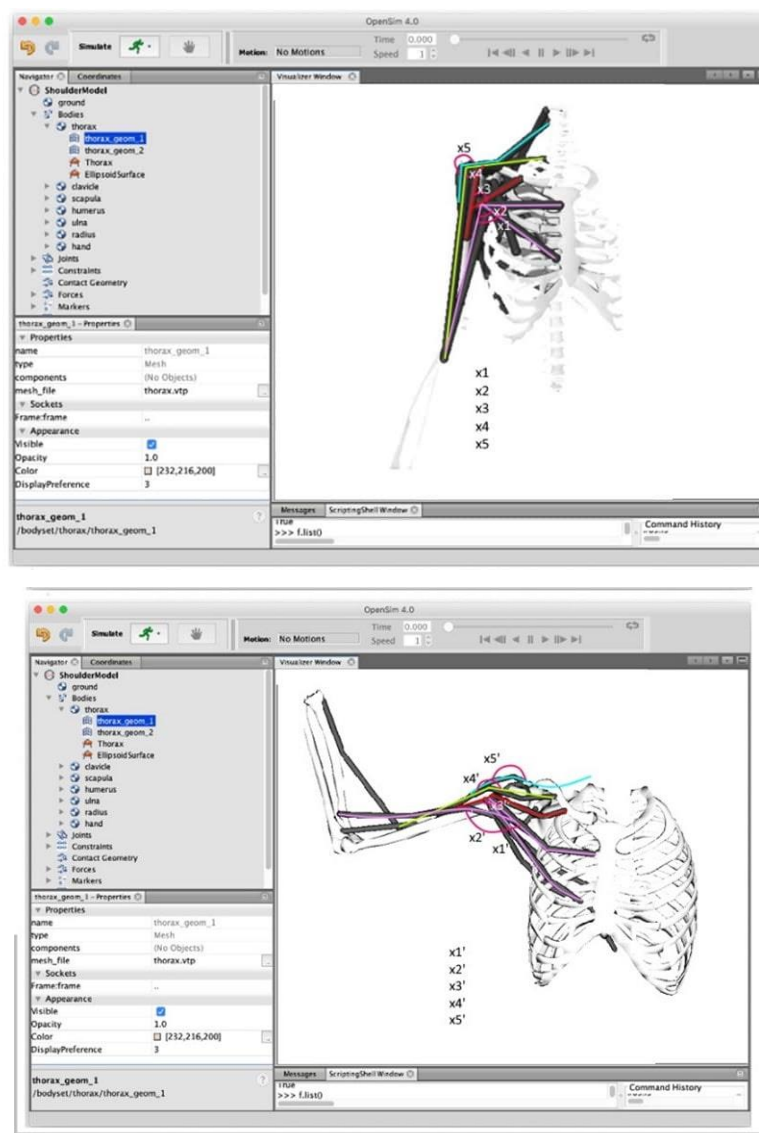


Рисунок 3.4 – Фазовая схема движения (отведение руки в сторону) модели плеча Хольцбаура в ПО OpenSIM

В результате проведенного исследования установлены взаимозависимости векторов сухожильных сил (Рис. 3.5, Приложение Ж, Рис. Ж.5 – Ж.16,) для 11 упражнений. Результаты исследований представлены на Рисунках 3.5 (а, б, в) (на примере 3 упражнений: берпи, толчок гири, подтягивания) и в Приложении Ж. Графики представляют собой зависимости абсолютных углов наклона основной мышцы к абсолютным углам дополнительных мышц. Под понятием «*основной мышцы*» подразумевается мышца-активатор, характеризующаяся изменчивостью угловых характеристик не менее, чем в 60 градусов, при этом анатомически расположенная между дополнительными мышцами. «*Дополнительными*» являются мышцы-активаторы и мышцы-синергисты, анатомически близко расположенные к «*основной мышце*» [142]. В большинстве упражнений основной мышцей установлена четырехглавая мышца бедра, за исключением упражнений, направленных на изолированную мышечную работу верхней части тела (спина, грудь, руки). Критерием динамической связанности представленных миофасциальных соединений является сонаправленность кривых зависимостей «основная мышца = F (дополнительные мышцы)» и прямой с коэффициентом наклона, равном единице (коэффициент корреляции равен единице).

Анализ данных, показанных на Рисунке 3.5, свидетельствует о наличии высокой степени положительной корреляции между параметрами четырехглавой мышцы бедра и большой ягодичной мышцей (нижних пучков), задних мышц бедра, поперечных мышц живота. Интересной особенностью является резкое изменение направленности корреляции между четырехглавой мышцей бедра и большой ягодичной (верхние пучки), наружными косыми мышцами с положительной (в промежутке 15 – 150 градусов) на высокой степени отрицательную корреляционную зависимость.

Трапецевидная мышца, состоящая из верхней, средней и нижней частей, прикрепляется веерообразно к остистым отросткам и межостистым связкам грудных позвонков, в связи с чем при биомеханическом анализе выделены 4 вектора сухожильных мышц, показанных на Рисунке 3.5, б. Направленность векторов обладает высокой степенью положительной корреляции с дельтовидной мышцей, выбранной в качестве «основной» при выполнении упражнения «Отжимания». На графическом представлении (Рис. 3.5, б) корреляционных зависимостей все исследуемые мышцы обладают высокой степенью корреляции, за исключением широчайшей мышцы спины, угловые характеристики которой не изменяются при изменении абсолютных углов основной мышцы.

С позиции статистической терминологии неправильно было бы говорить об отсутствии корреляции между угловыми характеристиками широчайшей мышцы спины и дельтовидной мышцей плеча, т.к. в действительности определение коэффициентов корреляции в данном случае не является статистически достоверным. Проведя анализ

причин данной недостоверности, необходимо отметить, что вследствие погрешностей измерения абсолютных углов в ± 5 градусов, при исследовании корреляционных зависимостей всех наборов чисел из множества вида $\{A; B\} = \{75^\circ \pm 5^\circ, 80^\circ \pm 5^\circ, 80^\circ \pm 5^\circ, 85^\circ \pm 5^\circ; 65, 105, 165, 180\}$, где A – абсолютные углы векторов сухожильных сил широчайшей мышцы спины, B – абсолютные углы векторов сухожильных сил дельтовидной мышцы плеча, коэффициенты корреляции по Пирсону определены в диапазоне от 0.18 (низкая степень корреляционной взаимосвязи), до 0.85 (высокая степень корреляционной взаимосвязи). При этом коэффициенты корреляции по Пирсону угловых характеристик четырехглавой мышцы бедра с угловыми характеристиками большой ягодичной мышцы (верхние пучки), наружными косыми мышцами живота определены в диапазоне 0.54 – 0.58 (средняя степень корреляционной взаимосвязи) для целого промежутка абсолютных углов «основной» мышцы (от 15 до 180 градусов), 0.91 – 0.98 (высокая степень корреляционной взаимосвязи) для промежутка возрастания абсолютных углов «основной» мышцы от 15 до 150 градусов) и коэффициент, равный -1 для промежутка убывания от 150 до 180 градусов.

Определение сопряженности исследуемых признаков (угловых характеристик мышц) с помощью коэффициентов взаимной сопряженности Пирсона, Чупрова, Крамера не является статистически достоверным по причине малочисленности выборки исследуемых данных. Так, коэффициент взаимной сопряженности между угловыми характеристиками дельтовидной мышцы плеча и широчайшей мышцы спины по Чупрову составил 0.127, по Крамеру 0.167, по Пирсону 0.165 (связь слабая) (см. Приложение В). Коэффициент взаимной сопряженности между угловыми характеристиками четырехглавой мышцы плеча и большой ягодичной мышцей (верхние пучки) составил 0.31, по Крамеру 0.383, по Пирсону 0.272. Связь определена как «слабая», хотя и выше, чем в предыдущем случае. Отчет о проведенном статистическом анализе представлен в приложении Ж.

Таким образом, для изучения степени сонаправленности векторов сухожильных сил исследуемых мышц и разработки контурных карт миофасциальных соединений приоритетным является анализ графического представления результатов исследования.

По итогам анализа данных, представленных на Рисунке 3.5 (в) (упражнение «Подтягивания») выявлена высокая степень корреляции абсолютных углов четырехглавой мышцы бедра только с угловыми характеристиками задней мышцы бедра. Также положительная корреляция четырехглавой мышцы бедра наблюдается с большой ягодичной мышцей (нижние пучки) и трехглавой мышцей голени, но в ограниченном диапазоне (70 – 180 градусов). В промежутке 0 – 70 градусов (для большой ягодичной мышцы (нижние пучки) и трехглавой мышцы голени), а также для прочих «дополнительных» мышц выявлена высокая степень отрицательной корреляции.

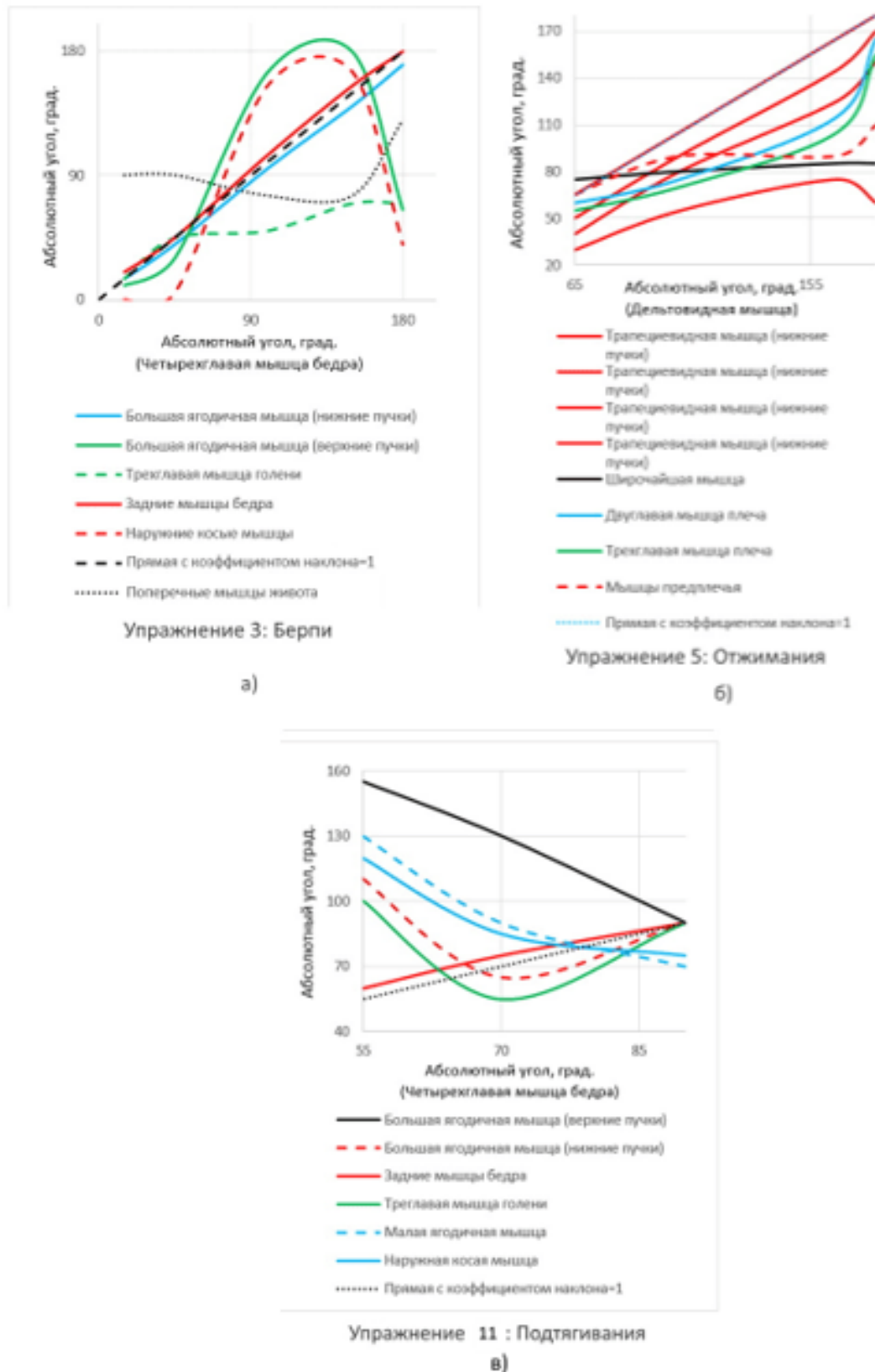


Рисунок 3.5 – Результаты исследования взаимосвязи векторов сухожильных сил вида: а) «Четырехглавая мышца бедра= F (дополнительные мышцы)», б) «Дельтовидная мышца= F (дополнительные мышцы)», в) «Четырехглавая мышца бедра= F (дополнительные мышцы)»

Результаты анализа зависимостей векторов сухожильных сил вовлеченных мышц при использовании мышечной карты тела человека позволяют определить зоны тела спортсмена, в которых возможно задание фиксированных величин КД в соответствии с поставленной в данной главе целью исследования. Следующий этап, в котором используются полученные зависимости, является разработка разверток образцов высокофункциональной компрессионной одежды (ВФКО) с учетом зонального распределения адгезионной пленки по поверхности развертки плотнооблегающего изделия.

Полученные результаты также могут быть использованы для зонирования деталей из трикотажных полотен с пониженными показателями растяжимости (вне зависимости от компрессионной способности используемых текстильных материалов).

3.2 РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ МЫШЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ СПОРТСМЕНА

3.2.1 Проектирование устройства измерения мышечной активности

Одной из задач процесса разработки «умных» изделий с функцией повышения мышечной активности является предоставление отечественным производителям, в том числе только вышедшим на рынок (стартапам), МИП (малым инновационным предприятиям) универсального инструмента для обеспечения контроля качества проектируемых «высоких» функций.

Выбор микросхемы или датчика, способного измерить изменение мышечной активности в процессе эксплуатации «умных» компрессионных изделий является главной задачей проектировщика, стоящей на этапе выбора электронных компонентов.

Механизм работы сенсоров мышечной активности, основан на измерении электрического потенциала, возникающего под воздействием мышечных сокращений. С появлением все более компактных и мощных микроконтроллеров и интегральных микросхем стала возможной разработка портативной системы, предназначенной для медицинских исследований и диагностики нервно-мышечных нарушений [143].

Среди проблем электромиографических (ЭМГ) датчиков можно выделить процесс идентификации определенных мышц и точную установку электродов, также среди возможных проблем при исследовании систем «умная компрессионная одежда – спортсмен» можно выделить возникновение аппаратных шумов вследствие взаимонаводки, колебаний проводов и механических повреждений, а также усиление сигнала и аналогово-цифровое преобразование сигналов [144].

Сигнал от возникающего в процессе мышечного сокращения потенциала чрезвычайно мал, поэтому он должен пройти процесс шумоподавления и усиления, чтобы показать форму волны, которая является устойчивой и имеет импульсы, генерируемые во время сокращения мышц. В связи с этим разработана схема формирования сигнала (Рис. 3.7), которая состоит из трех каскадов усилителя, фильтра верхних частот, выпрямителя и фильтра нижних частот, который преобразует входящий сигнал в желаемую форму сигнала. После генерирования этой формы волны данные собираются микроконтроллером и преобразуются в цифровые сигналы.

В проектируемую систему для измерения мышечной активности внедрены 3 электрода, два из которых размещены посередине медианной части мышцы, а третий - в качестве эталона в костной части локтя. Два электрода подключены к входу с полным сопротивлением t , а третий электрод заземлен на входе с низким импедансом.

Для получения сигнала ЭМГ используются 2 электрода, первый на целевой мышце, второй электрод на любой соседней мышце, для достижения падения напряжения. Эти электроды подключены к специально разработанной плате сбора сигналов ЭМГ, как показано на Рисунке 3.6.

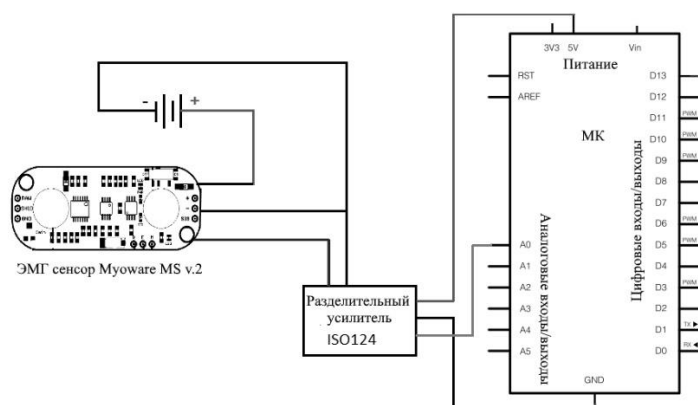


Рисунок 3.6 – Схема подключения сенсора мышечной активности к микроконтроллеру

Плата содержит два потенциометра, один для калибровки усиления сигнала, а другой - для смещения сигнала. Печатная плата также содержит инструментальный усилитель для определения потенциала, начального усиления ($\times 50$) и синфазного подавления; полосовой фильтр (от 20 Гц до 500 Гц) и режекторный фильтр для ослабления влияния шума и мощности сети; ступень усиления для увеличения разрешения, позволяющая считывать сигнал без потери информации; двухполупериодный выпрямитель (в зависимости от состояния переключателя) для выпрямления сигнала; и, наконец, ограничитель напряжения для защиты блока цифровой обработки с использованием эталона АЦП (Рис.3.7). Выход подключен к микроконтроллеру.

Рисунок 3.7 – Схема системы обнаружения и измерения МЭС

Полученный в процессе исследования массив данных должен быть соответствующим образом проанализирован. При выполнении анализа сложных данных одна из основных проблем связана с количеством задействованных переменных. Анализ с большим количеством переменных требует большого объема памяти и вычислительных мощностей. Извлекаемые параметры разделены на 2 группы: начальные и основные. Параметры 1 группы, приведенные в Таблице 3.3, предназначены для первичной обработки и анализа полученных сигналов, в то время как параметры из 2 группы (Табл. 3.4) предназначены для медицинского и нейрофизиологического анализа с целью выявления анатомических аномалий и феноменов [145].

Таблица 3.3 – Перечень параметров ПДМЕ, используемых для нейрофизиологического анализа мышечной активности спортсмена

№ п/п	Параметр ПДМЕ	Определение
1	2	3
1	Длительность возрастания T_{rising}	Время между начальным положительным и следующим отрицательным минимумом функции в пределах среднего спайкового разряда
2	Значение r_k - r_k (от пика к пику) $A_{r_k-r_k}$	Разница между максимальным положительным и максимальным отрицательным значениями амплитуды сигнала
3	Толщина S	Соотношение площадей под кривыми: кривой с максимальным положительным и кривой с максимальным отрицательным значениями амплитуды
4	Максимум A_{max}	Максимальное значение функции полученного сигнала
5	Действующая амплитуда A_g	Моделируется гауссовским случайным процессом с амплитудной модуляцией, который связан с постоянной силой и неустойчивым сокращением

Таблица 3.4 – Взаимосвязь характеристик параметров ПДМЕ с нейрофизиологическими характеристиками мышечной системы спортсмена

№ п/п	Характеристика параметра ПДМЕ	Характеристика связанного анатомического феномена
1	2	3
1	Уменьшенная амплитуда	Атрофия мышечных волокон
		Увеличение соединительной ткани
		Чрезмерное дрожание и блокировка
2	Увеличенная амплитуда	Группировка мышечных волокон (реинервация, регенерация)
		Гипертрофия мышечных волокон
3	Уменьшенная длительность	Атрофия мышечных волокон
		Потеря мышечных волокон
		Серьезная блокировка ПДМЕ в концевой панели
4	Увеличенная длительность	Увеличение количества мышечных волокон (коллатеральное наращивание)
5	Увеличенная длительность выброса напряжения	Изменение диаметра мышечных волокон
		Увеличение ширины концевой пластины
6	Увеличенное количество фаз и турнов* <i>Под турном (от англ. turn) понимают колебание потенциала ЭМГ амплитудой более 100 мкВ</i>	Медленная проводимость в конечных аксонах.
		Увеличение ширины концевой пластины
		Увеличение вариабельности диаметра мышечных волокон
7	Увеличение частоты спайкового разряда	Потеря мышечных единиц (МЕ)
		Уменьшение силы, создаваемой отдельными МЕ
8	Увеличенная нестабильность сигнала	Аномальная нервно-мышечная передача

По итогам анализа информации, представленной в Таблице 3.3 и Таблице 3.4 определены основные параметры ПДМЕ, изменение показателей которых свидетельствует об изменениях нейрофизиологических и физиологических характеристиках соответствующих мышц. В перечень основных параметров ПДМЕ вошли **амплитуда**,

длительность, стабильность сигнала. В разработанной системе определение показателей данных параметров происходит не автоматизированным способом с помощью алгоритмов машинного обучения, а оператором, производящим измерение сигнала МЭС и их последующий анализ. При этом, наиболее проблемным (как автоматизированным, так и неавтоматизированным способом) с точки зрения сложности и корректности проводимого анализа, является параметр «стабильность сигнала».

Повышение корректности и скорости оценки данного параметра возможно в результате применения фильтрации исходного необработанного сигнала МЭС [146]. С этой целью разработан скрипт фильтрации исходных данных на основе фильтра Баттерворта. Диаграмма Боде (логарифмическая амплитудно-фазовая частотная характеристика) из первого порядка фильтра Баттерворта нижних частот представлена на Рисунке 3.8.

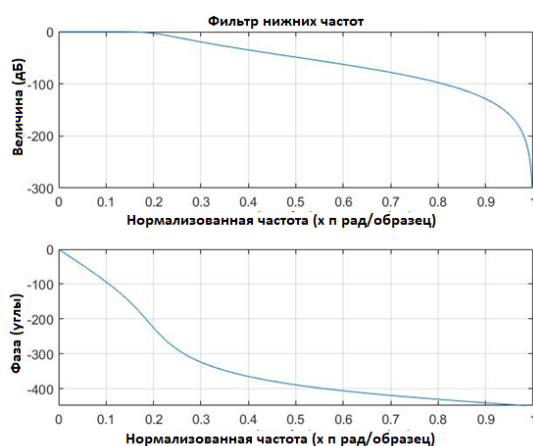


Рисунок 3.8 – Диаграмма Боде из первого порядка фильтра Баттерворта нижних частот

Как показано на Рисунке 3.9, в результате применения разработанного скрипта, обработанный сигнал становится более сглаженным, и таким более предпочтительным для анализа оператором измерительной системы.

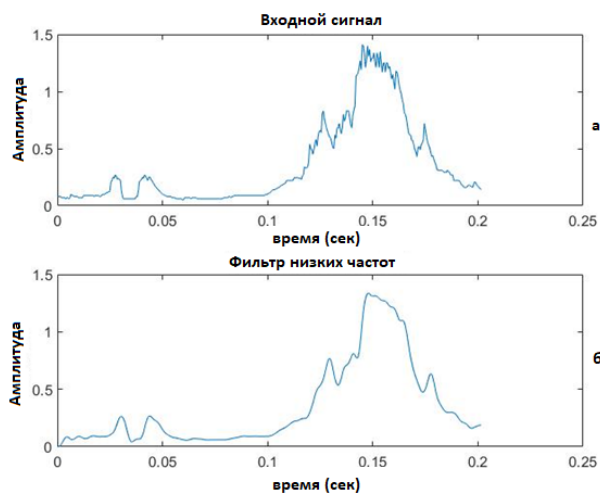


Рисунок 3.9 – Необработанный сигнал (а) и сигнал, обработанный с помощью фильтра Баттерворта (б)

С учетом вышеизложенного, разработана программа для измерения мышечной активности. Код программы и скрипт, обеспечивающий фильтрацию полученного сигнала, представлены в Приложении 3.

3.2.2 Валидация системы измерения мышечной активности спортсмена в статических условиях

Перед проведением исследования мышечной активности спортсмена в процессе эксплуатации ВФКО необходимо провести валидацию системы измерения мышечной активности. Процесс валидации разработанной системы состоял из 2 этапов:

- считывания, обработки и анализа полученных сигналов МЭС, полученных в статическом состоянии спортсмена (условие эксплуатации ВФКО не является обязательным);
- статистической обработки полученных измерений.

Два испытуемых принимали участие в валидации системы, повторяя каждое испытание 3 раза. Испытуемые лица мужского пола, возраст ($22,5 \pm 2,5$ года), вес ($67 \pm 16,5$ кг) и рост ($1,77 \pm 0,05$ м).

Для подтверждения работы системы измерения активности мышц ног в статических испытаниях, испытуемыми выполнено напряжение четырехглавой мышцы бедра в статическом состоянии (положение стоя). Выбор мышцы, подлежащих мониторингу, основан на необходимости изучения влияния мышечных сокращений в отсутствии биомеханического движения, что является возможным при большом размере (объеме) исследуемой мышцы. В соответствии с разработанной контурной картой миофасциальных соединений, в которой в качестве зон распределения материала с повышенными адгезионными свойствами выбран контур миофасциальных линий, участвующих при совершении приседаний с отягощением. Миофасциальные линии получены ранее по результатам проведенного биомеханического анализа. В соответствии с полученными результатами, каждая из 3 внешних головок (Рис. 3.10) четырехглавой мышцы бедра (промежуточная широкая мышца бедра расположена внутри бедра) при эксплуатации ВФКО является изолированной зоной компрессионного воздействия, в связи с чем измерения выходных сигналов МЭС получены в каждой зоне.



Рисунок 3.10 – Расположение исследуемых головок мышц четырехглавой мышцы бедра

Исследуемые движения ног повторяли 10 раз в каждом испытании. Испытания повторили 3 раза. Статистическая обработка сигналов МЭС выполнена посредством расчета среднеквадратичной ошибки с использованием функций MatLab.

На Рисунке 3.11 показан пример полученных выходных сигналов. Верхний график представляет собой необработанный сигнал, а нижний график отображает обработанные данные с использованием фильтра второго порядка Баттерворта с частотой среза 1,6 Гц. Применение фильтрации позволяет снизить шумы в необработанном сигнале МЭС.

Таблица 3.5 – Статистическая обработка результатов валидации системы исследования мышечной активности в статическом состоянии спортсмена (на примере группы мышц «четырёхглавая мышца бедра»)

№ исследуемого	Четырёхглавая мышца бедра		
	Прямая мышца бедра	Медиальная широкая мышца бедра	Латеральная широкая мышца бедра
	Ср. квадр. отклонение, (%)		
1	2	3	4
1	6.07	5.66	12.38
2	11.18	10.8	8.31

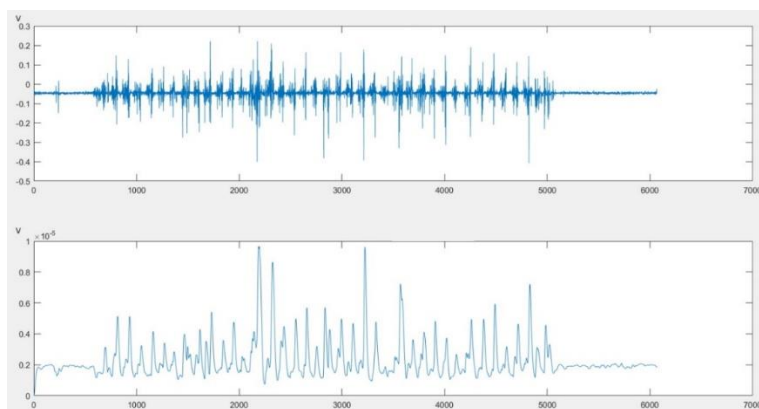


Рисунок 3.11 – Пример выходных сигналов МЭС, полученных в результате статического состояния спортсмена, в условиях напряжения четырехглавой мышцы бедра

Анализ полученных результатов (Табл. 3.5) свидетельствует о функционировании разработанной системы измерения мышечной активности спортсмена и в целом об удовлетворительном уровне соответствия полученных характеристик системы предъявляемым к измерительной системе требованиям.

3.3 РАЗРАБОТКА РАЗВЕРТОК КОМПРЕССИОННОЙ И ПЛОТНО ОБЛЕГАЮЩЕЙ ОДЕЖДЫ СПОРТИВНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Оказание зонально-распределенного компрессионного воздействия на тело спортсмена, осуществляемого за счет взаимовлияния свойств трикотажных полотен с компрессионными свойствами и свойств адгезионных пленок, нанесенных на внутреннюю поверхность изделия, требует разработки точных разверток швейных изделий с высоким уровнем антропометрического соответствия.

Для выполнения ВФКО функции повышения мышечной активности, необходимо обеспечить высокое качество посадки и эргономические характеристики как в статическом, так и динамическом состоянии спортсмена [133,134], что возможно лишь в результате получения полной антропометрической информации о размерной характеристике фигуры спортсмена, его антропоморфных особенностях развития мышечной, костной системы.

Наиболее отличительной особенностью фигур атлетического телосложения является наличие развитой мышечной системы. Так как мышцы человека являются внешним по отношению к костной системе компонентом, то на поверхности тела спортсмена развитие мышц проявляется в ярко выраженных областях, обладающим увеличенным объемом тела.

Для того, чтобы обеспечить антропометрическое соответствие проектируемой одежды необходимо получить информацию о размерных характеристиках областей наибольшего развития мышц. К видам размерных характеристик можно отнести обхваты и высоты на уровне наибольшей выраженности мышц, антропометрических точках сочленения наиболее выраженных мышц. Стоит отметить, что измерение антропометрических данных на уровнях наибольшей выраженности мышц основываются на снятии данных с внешней поверхности тела, таким образом в измеряемое значение входит размерные характеристики костей, жировой прослойки, а также кожи. Таким образом, в дальнейшем использовано понятие *«наибольшей выраженности»*, а не *«наибольшего развития»* мышц.

3.3.1 Получение основной антропоморфологической информации для получения разверток ВФКО

К обхватным характеристикам можно отнести обхваты на уровне наибольшей выраженности мышц двухглавой и трехглавой мышцы плеча, четырехглавой мышцы бедра, медиальной мышцы бедра, икроножной мышцы, больших ягодичных мышц, больших грудных мышц, мышцы шеи. Четыре последние группы мышц² имеют размерные характеристики: обхват икры, обхват бедер с учетом выступа живота, обхват груди третий, обхват шеи.

К высотам можно отнести измерения на уровне всех обхватных характеристик, кроме обхвата шеи, обхватов на уровне наибольшей выраженности двухглавой и трехглавой мышцы плеча. Продольное расположение обхватов последних двух характеристик удобнее измерять с помощью дугового измерения от плечевой точки до точки пересечения с соответствующим обхватом. В настоящее время из перечисленного перечня высот на уровне наибольшего развития мышц существуют только высота на уровне обхвата груди третьего.

С учетом вышесказанного, разработан перечень дополнительных антропометрических точек (Рис. 3.12, Приложение И, Табл. И.1.), дополнительных размерных признаков (Рис. 3.13, Приложение И, Табл. И.2.), определенных в статическом положении человека.

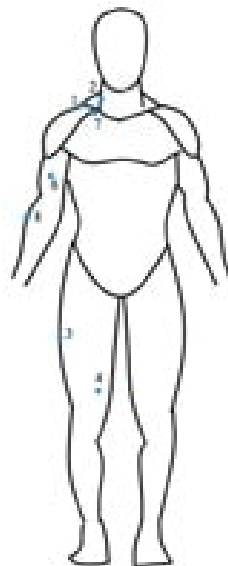


Рисунок 3.12 – Расположение дополнительных антропометрических точек (исключая точки, необходимые для построения развертки одношовного втачного рукава)

² группа мышц – совокупность близко расположенных мышц, выполняющих одинаковые биомеханические функции либо схожие по анатомическому признаку, в соответствии с принятым международным стандартом *Terminologia Anatomica* [147].

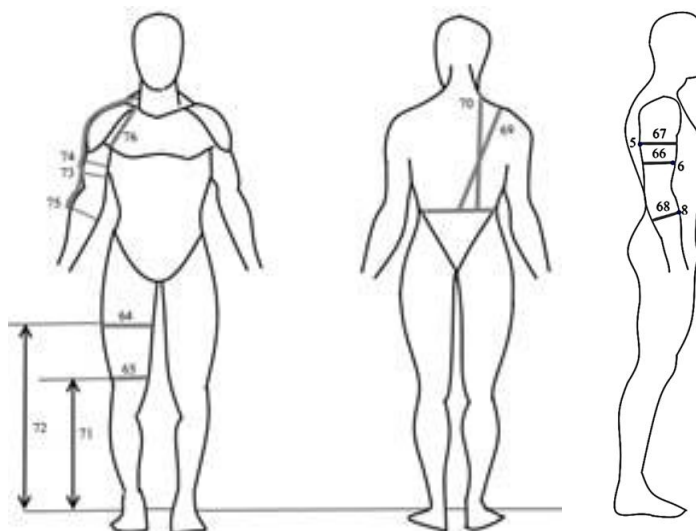


Рисунок 3.13 – Схема измерения дополнительных размерных признаков (исключая признаки, необходимые для построения развертки одношовного втачного рукава)

3.3.2 Разработка способа конструирования развертки одношовного втачного рукава

Согласно Кобляковой Е.Б. [149], детали и/или предметы одежды проектируют, разделяя тело человека на основные сегменты: руки, ноги, корпусная часть. Проектирование рукава- один из самых важных этапов, влияющих на качество изделий, а непосредственно узел рукав –пройма обеспечивает важнейшие показатели эргономики и функциональности изделия, поэтому в работе детально рассмотрен подход к проектированию именно этой части изделия. Методика, этапы проектирования и подходы к формированию исходной информации остальных деталей изделия аналогичны. Согласно Мартыновой А.И. [148], к втачному рукаву предъявляются требования хорошего внешнего вида и высокого качества посадки, которые можно удовлетворить благодаря его соответствию размерам и формам руки, пропорциональному соотношению размеров рукава с размерами всего изделия, правильной ориентации рукава относительно проймы и изделия, увязке размеров и формы оката с размерами и формой проймы, правильному распределению посадки оката, эстетичности линий перекатов, оката и низа рукава.

Существующие методики конструирования в основном учитывают габаритные размеры частей тела человека. Так, например, методики конструирования втачного рукава базируются на 2 габаритных измерениях: обхвате плеча для задания габаритов в горизонтальном направлении и длина руки до локтя (и/или до запястья) для задания габаритов в вертикальном направлении.

При этом, в отношении верхних конечностей, для построения точных разверток тела спортсмена необходим учет особенностей строения *дельтовидных мышц*, что в дальнейшем

окажет влияние на точность построения верхних участков оката рукава; особенностей строения *области подмышечной впадины*, что важно для точного построения нижних участков оката рукава; также в некоторых случаях (зависит от целеполагания проектируемого изделия и целесообразности с позиции степени развития мышц) необходимо более детальное описание строения области двуглавой и трехглавой мышц плеча.

Другим важным аспектом проектирования разверток рукавов является необходимость учета динамического состояния спортсмена и задания соответствующих параметров конструкции для обеспечения антроподинамического соответствия проектируемого изделия.

Все вышесказанное подтверждает тезис о недостаточности набора размерных признаков, используемого в существующих методиках конструирования, для полного описания антропоморфологических особенностей строения тела спортсмена с учетом повышенного уровня развития мышечной системы.

С целью учета особенностей антропоморфологического строения верхних конечностей разработан перечень дополнительных размерных признаков верхних конечностей человека, схема измерения которых представлена на Рисунке 3.14, Таблице И.3 (см. Приложение И).

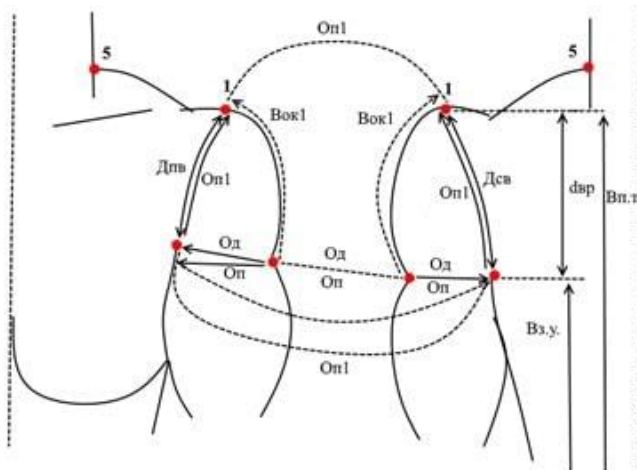


Рисунок 3.14 – Расположение дополнительных РП, учитывающих антропоморфологические особенности верхних конечностей тела спортсмена (рук)

На основе разработанного перечня и анализа строения верхних конечностей, торса тела человека, разработан способ конструирования развертки одношовного втачного рукава ВФКО (см. Табл. И.4, приложение И). Способ основан на использовании в совокупности с существующим перечнем размерных признаков, перечня дополнительных размерных признаков (РП) для конструирования развертки одношовного рукава.

3.4 ОЦЕНКА ПОСАДКИ РАЗРАБОТАННЫХ КОНСТРУКЦИЙ В СТАТИКЕ В ВИРТУАЛЬНОЙ СРЕДЕ

Для проверки предлагаемой методики конструирования развертки одношовного рукава предложено провести сравнительный анализ конструкций плечевой одежды, полученных по предлагаемому способу и по существующим методикам конструирования плечевой одежды. Для проведения сравнительного анализа выбрано 7 методик: методика *ЕМКО СЭВ* [150], методика *ЦОТШЛ* [151], методика *Росляковой* [152], английский метод конструирования (*Алдрич*) [153], методика *ВДМТИ* [154], методика *Мюллер и сын* [155], предлагаемый автором способ. В трех методиках (*ЕМКО СЭВ*, *ЦОТШЛ*, *Росляковой*) для анализа выбрано построение платья в качестве плечевого изделия, конструкция которого характеризуется наличием нагрудных, талиевых, плечевых вытачек. Так как построение конструкций плотно облегающих и компрессионных изделий не предполагает формирование вытачек, в связи с чем, при построении талиевые вытачки раз моделированы в область бокового шва, формирование нагрудных и плечевых вытачек не производилось для соответствия размерных признаков «Ширина плеча» и «Обхват плеча первый». В дальнейшем при корректировке лекал в результате оценки посадки изделий произведено формирование вытачек в области проймы и последующее их раз моделирование в область плечевого шва, проймы и горловины. Количество шагов алгоритма корректировки, основанном на применении конструктивных приемов, необходимых для получения конструкций с удовлетворительным качеством посадки, в дальнейшем стало одним из критериев оценки пригодности использования способа для построения развертки одношовного втачного рукава.

При построении конструкций плечевой одежды с помощью *английской методики* конструирования (*Алдрич*) использована методика построения БК плечевых изделий из трикотажа (плотно облегающая футболка).

Для построения конструкций с помощью *методики Мюллер и сын* выбран раздел «Основы трикотажных изделий» и методики построения «Основной чертеж плечевого изделия из эластичных материалов с длинными рукавами», «Основной чертеж рукава изделия из эластичных материалов».

При использовании *методики ВДМТИ* для построения конструкций выбран женский полурегулярный джемпер с установлением нулевых прибавок на свободу облегаия.

В качестве опытной фигуры выбрана мужская фигура, размерные признаки которой представлены в Таблицах И.5 – И.10 (см. Приложение И).

Разработанные по предлагаемому способу конструкции плечевой одежды с втачным рукавом представлены на Рисунке 3.15; по 6 сравниваемым методикам в Таблицах И.11 (см. Приложение И).

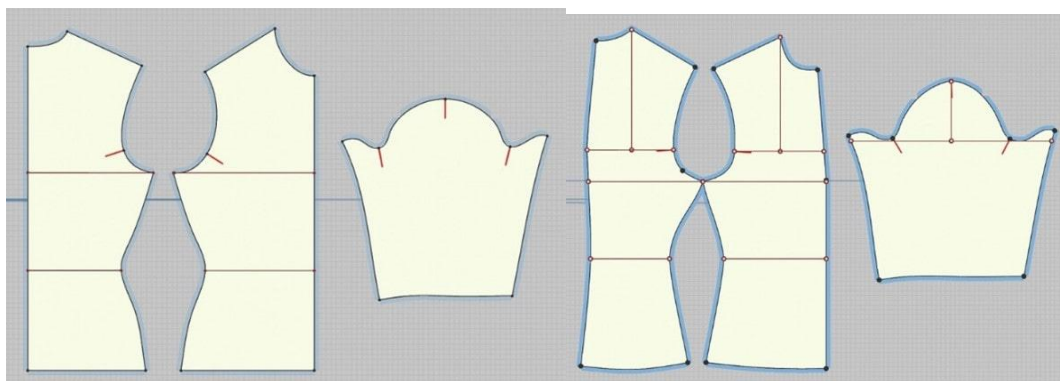


Рисунок 3.15 – Конструкция плечевой одежды с втачным одношовным рукавом: исходная (а), модифицированная (в результате корректировки) (б)

Оценивание методик конструирования плечевой одежды с одношовным втачным рукавом является целесообразным при следующих условиях и допущениях: построение конструкций на индивидуальную фигуру и отсутствие прибавок на свободу облегания. Так как использование предлагаемого способа представляется возможным как при изготовлении изделий на индивидуальную фигуру, так и массового потребителя, то необходимо провести исследование посадки изделий, при разработке конструкций которых использованы размерные признаки типовой фигуры согласно ОСТ 17-325-86 [156]. В качестве разведывательного эксперимента построены конструкции опытных образцов плечевых изделий с одношовным втачным рукавом для типовой фигуры с $P = 182 - 188$, $ОтЗ = 104$ см, $От = 74$ см. (Рис. 3.16).

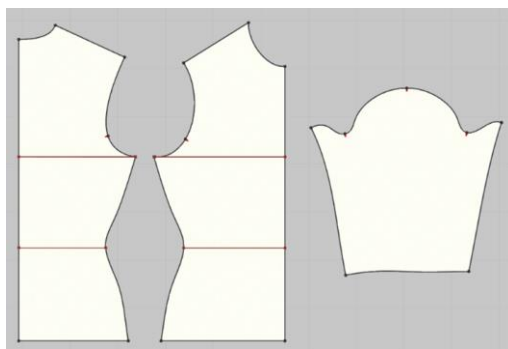


Рисунок 3.16 – Конструкция плечевой одежды с втачным одношовным рукавом с использованием РП типовой фигуры

Поставленная в диссертационном исследовании цель подразумевает использование результатов работы как при изготовлении изделия на индивидуального заказчика (для спортсменов профессионального уровня подготовки), так и при изготовлении кастомизированного изделия в условиях массового производства. При этом решение задачи оценки предлагаемого способа конструирования для использования при проектировании плотно-облегающих и компрессионных плечевых изделий возможно в результате проведения большого количества примерок в физическом виде или в виртуальной среде.

Учитывая этот фактор, решено ограничиться исследованием посадки проектируемых изделий в виртуальной среде на индивидуальную фигуру.

Оценка посадки производилась по 5 параметрам: основным конструктивным параметрам, карте напряженности, карте деформаций, оценке внешнего соответствия изделия с помощью метода экспертных оценок, количеству шагов алгоритма корректировки конструкции.

В число основных конструктивных параметров вошли: высота оката, длина оката и длина проймы, ширина рукава на уровне обхвата плеча.

Карта внешнего напряжения, вызывающего деформацию одежды на каждой области одежды, проявляется в диапазоне цветов и чисел. Карта напряжений отображается в восьми цветах: красный указывает на самое сильное напряжение (100 кПа), а синий означает нулевое искажение (0,00 кПа). Другие числа между ними выражаются как градация двух цветов.

Степень деформации одежды из-за внешнего воздействия отображается в процентах. Карта деформаций состоит из восьми цветов: красный означает 120% искажения, а синий означает 100% (отсутствие искажений).

Оценка внешнего соответствия изделий производилась путем экспертной оценки. В число экспертов вошли 11 специалистов в области конструирования и технологии швейных изделий.

Корректировка конструкций производилась по схеме «*2д-конструкция → виртуальная примерка в 3д-среде → 2д-конструкция*» до момента достижения оптимальной посадки. Оптимальная посадка определена как расположение швейного изделия относительно фигуры человека, при котором не обнаружены конструктивные дефекты в результате визуальной оценки внешней формы.

Количество конструктивных приемов, необходимых для достижения оптимальной посадки определялось как минимально возможное, по результатам применения которых в процессе конструктивного моделирования, не обнаружены явные конструктивные дефекты. Конструктивные дефекты опытных образцов изделий определены и исправлены согласно способам, предложенным Н.А. Рахмановым и С.И. Стахановой [167].

Работа над изменением конструкций лекал, последующая виртуальная примерка изделий, получение карт деформаций и напряженности производилась в программе Clo3D.

В результате разведывательных экспериментов установлено, что в системе сложно получить аватар, который будет полностью соответствовать антропометрическим измерениям реальной фигуры. Аватар с точным соответствием РП выбранной фигуре получен в результате экспорта скана реальной фигуры (в формате .obj) и применения соответствующей функции ПО Clo3D (Рис. 3.17).



Рисунок 3.17 – Модифицированный аватар, полученный в результате экспорта 3д-скана фигуры в статическом положении

Оценка посадки опытных изделий в Clo3D обладает высокой степенью достоверности в статическом положении испытуемого как с позиции высокого уровня соответствия аватара реальной фигуре, так и с позиции удовлетворительного уровня моделирования свойств и визуализации поведения тканых и трикотажных полотен в готовом виртуальном изделии. Недостатком является невозможность задания абсолютных значений физико-механических свойств текстильных материалов, так как свойства заданы в виде относительного значения по шкале от 0 до 100 (процентов), при этом отсутствуют данные о переводе абсолютных значений в соответствующей размерности в относительные. Для сравнительного анализа посадки опытных образцов заданы следующие материалы: трикотажное полотно Knit Ponte Jersey, данные о которых представлены на Рис. И.1 (см. Приложение И).

Результаты виртуальной примерки опытных образцов плечевой одежды с втачным рукавом представлены в Таблицах 3.6, Рисунке 3.18, Рисунке 3.19, Таблицах И.12 – И.14, Таблицах И.15 – И.17 (см. Приложение И). Алгоритмы корректировки конструкций опытных образцов одежды также представлены в Приложении И.



Рисунок 3.18 – Виртуальная примерка образца плечевой одежды с втачным одношовным рукавом: исходная конструкция



Рисунок 3.19 – Виртуальная примерка образца плечевой одежды с втачным одношовным рукавом: модифицированная (в результате корректировки) конструкция

Анализ основных конструктивных параметров (*Дпр*, *Док*, *Шр*) полученных конструкций произведен сравнительной оценкой с размерными признаками *Обхват плеча первый* (*Дпр* и *Док*), *Обхват плеча* (*Шр*). Анализ параметра *Вок* произведен сравнением значений, полученных во всех 7 методиках, без возможности получения каких-либо объективных выводов. Также анализ параметров произведен посредством оценки относительного изменения параметров, рассчитанного по формуле:

$$\Delta_k = \frac{|П_{МБК} - П_{ИБК}|}{100}, \quad (36)$$

где $П_{МБК}$ – значение конструктивного параметра модифицированной БК, см; $П_{ИБК}$ – значение конструктивного параметра исходной БК, см.

Результаты анализа основных параметров исследуемых конструкций втачного рукава представлены в Таблице 3.4. Полученные результаты свидетельствуют о сильном разбросе значений параметров «Высота оката», «Длина оката» и «Длина проймы» в исходных БК. В отношении модифицированных БК, выявлено увеличение параметров *Док* и *Дпр* в большинстве исследуемых методик конструирования. В отношении параметра *Вок* выводы не однозначны. В конструкциях, построенных по методикам Алдрич, ЕМКО СЭВ и ВДМТИ происходит значительное увеличение высоты оката, по ЦОТШЛ – ее уменьшение. Наибольшее относительное изменение основных параметров конструкции выявлено в английской методике конструирования, наименьшее – ЦОТШЛ и «Мюллер и сын».

В результате корректировки лекал для нивелирования выявленных конструктивных дефектов, количество шагов алгоритма корректировки конструкции составило для различных методик:

- ВДМТИ – 15 шт;
- Английская методика конструирования – 11 шт;
- Мюллер и сын – 10 шт;
- ЦОТШЛ – 10 шт;

- ЕМКО СЭВ – 9 шт;
- Рослякова – 8 шт;
- Предлагаемый способ – 8 шт.

Согласно приведенному перечню, конструкции, построенные по методике Росляковой и предлагаемому способу, имеют наименьшее количество шагов алгоритма корректировки лекал, конструкции по методике ВДМТИ и Английской методике – наибольшее.

Таблица 3.6 – Анализ основных параметров исследуемых конструкций втачного рукава

№ п/п	Методика	Исходная БК				Модифицированная БК				Изменение параметров, %			
		Дпр	Док	Вок	Шр	Дпр	Док	Вок	Шр	Дпр	Док	Вок	Шр
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

В результате проведенной экспертной оценки посадки опытных изделий (Табл. И.15 – И.17, Приложение И) установлено, что наилучшей посадкой обладают изделия, исходные базовые конструкции которых построены по методикам Мюллер и сын, ЦОТШЛ и предлагаемому способу; изделия, конструкции которых построены по методике ЕМКО СЭВ и ВДМТИ обладают низким качеством посадки и не рекомендованы для использования при построении лекал плотно-облегающих и компрессионных изделия спортивного назначения.

По результатам комплексного анализа карт деформаций и напряжений установлено, что методика ЕМКО СЭВ обладает низким качеством посадки, прилегания и давления одежды на тело человека. Методики ЦОТШЛ и Росляковой в лучшей степени повторяют контуры тела спортсмена и годятся для использования при построении плотно-облегающих изделий без наличия уровня компрессии. Лучшей посадкой обладают изделия, конструкции которых построены по методике Мюллер и сын и предлагаемому способу. В отношении сравнительного анализа этих изделий установлены две основных особенности: первая

заключается в наличии повышенного уровня напряжений и деформаций в области талии, что по итогам проведенного в первой главе, анализа влияния компрессионных изделий на тело человека, является фактором, негативно влияющим на организм человека. В основном исследователями в качестве причин негативного влияния указывается расположение желудочно-кишечного тракта человека в данной области. Конструкция, построенная по предлагаемому способу, не характеризуется наличием давления в области талии. В прочем, указанная особенность посадки быстро корректируется изменением ширины изделия в области талии.

Второй особенностью двух конструкций, является наличие высокого уровня напряжений и деформаций в области сопряжения проймы и оката рукава. При этом, если конструкция, построенная по предлагаемому способу, обладает высокими значениями указанных параметров только в области нижних участков оката рукава (в области подмышечной впадины тела человека) – что при этом является следствием повышенного уровня антропометрического соответствия одежды в области подмышечной впадины. То в отношении конструкции, построенной по методике «Мюллер и сын», установлено наличие высокого уровня напряжений и деформации во всей области сопряжения рукава с проймой изделия.

По причине отсутствия рекомендаций для установления компрессионного давления в области сопряжения верхних конечностей с телом человека, и необходимости оценки антроподинамического соответствия конструкций опытных изделий, проведены разведывательные эксперименты в системе Clo3D.

3.5 ОЦЕНКА АНТРОПОДИНАМИЧЕСКОГО СООТВЕТСТВИЯ ИССЛЕДУЕМЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Оценка динамического соответствия опытных образцов изделий производилась в виртуальной среде на примере подъема и отведения руки в плечевом суставе. В результате ряда попыток установления динамических поз аватара, выдвинута гипотеза о несоответствии наблюдаемых динамических эффектов. Установление соответствия можно достичь в результате изменения элементов биомеханической системы - суставов скелета аватара до момента равенства наблюдаемого в виртуальной среде динамического эффекта данным, полученным эмпирическим путем на человеке.

В связи с этим установлена потребность поиска результатов антроподинамических исследований верхних конечностей тела человека.

Человек есть «биокинематическая система», и движения перечисленных частей тела обеспечивается работой соответствующих суставов: плечевого, коленного, тазобедренного. Плоскости сечения данных суставов соответствуют условным плоскостям сочленения деталей одежды (пройма-рукав) или конструктивным линиям (уровень локтя, уровень колена) [157]. Проведение биомеханических исследований системы «человек-одежда» в области перечисленных суставов согласно разрабатываемому предварительно перечню основных динамических поз позволяет обеспечить повышение качества посадки, эргономики изделия и таким образом, повысить удовлетворенность потребителей качеством приобретаемых швейных изделий.

Так, в работах Сурженко Е.Я. [158,159] проведено исследование зависимости динамических эффектов размерных признаков от угла отведения руки в плечевом суставе.

В работах Бахтиной Е.Ю. проведено исследование угловых биомеханических параметров движений человека и выполнена разработка конструкции одежды с учетом соответствия двигательной компоненты [160].

Вышеперечисленные исследования [157-161] основаны на измерении дуговых размерных признаков или их производных, как традиционно принятых в конструировании одежды, так и дополнительных параметров: ширины спинки, груди, расстояния от линии талии до углов подмышечной впадины, высоты плеча косой, величины горизонтального прогиба проймы. Также исследователи используют угловые характеристики отклонения верхних конечностей от корпуса тела человека: угла отведения и подъема руки в плечевом суставе, угла поворота вертикальной плоскости проймы. Полученные параметры используются для изменения параметров проймы: ширины проймы, высоты проймы сзади, ширины спинки, ширины груди большой, глубине проймы, а также их прибавок для обеспечения динамического соответствия.

Динамическое поведение тела человека основано на работе мышечно-скелетной системы, в которую входит костный скелет, суставные диски, мениски. Для обеспечения соответствия одежды размерам и форме тела человека в статике является достаточным использование в качестве исходных данных измерений, большинство из которых устанавливаются с помощью антропометрических точек, расположенных на ярко выраженных и легко определяемых образованиях скелета [148]. Вместе с тем скелет – это пассивная компонента опорно-двигательного аппарата [162]. Активной частью является мышечная система. Физическая активность тела человека обеспечивается сокращением мышц под управлением нервной системы («нейромышечного контроля»).

С позиции биомеханического описания и формирования исходных конструкторских данных наиболее сложной является подмышечная область, которая является местом расположения нижних частей узла «пройма – рукав».

Принцип работы мышечной системы в области подмышечной впадины показан на Рисунках 3.20 – 3.24 на примере отведения и подъема руки в плечевом суставе.

Подмышечная впадина - пирамидальное пространство между верхней частью плеча и боковой грудной стенкой. Вершина подмышечной впадины ограничена спереди ключицей, сзади верхней границей лопатки, медиально внешней границей 1-го ребра. Основание подмышечной впадины ограничено спереди передней подмышечной складкой (образованной нижней большой грудной мышцей), сзади - задней подмышечной складкой (образованной сухожилиями широчайших мышц спины и большой круглой мышцы), медиально ограничена стенкой грудной клетки. Боковая стенка подмышечной впадины образована ключично – плечевой мышцей и двуглавой мышцей плеча, а также трехглавой мышцей плеча [163].

Таким образом в группу мышц, находящихся в области подмышечной впадины и являющимися двигательными компонентами, входят мышцы спины, груди, плечевого пояса, рук: большая грудная мышца (Рис. 1), широчайшие мышцы спины (Рис. 4), большая круглая мышца (Рис. 3), двуглавая мышца плеча, ключично – плечевая мышца, трехглавая мышца плеча (Рис. 5) и дельтовидная мышца (Рис.2). При этом только дельтовидная мышца является целевой: именно под воздействием ее концентрических сокращений происходит поднятие и отведение рук в плечевом суставе. Все остальные перечисленные мышцы испытывают эксцентрическое сокращение и как следствие, растяжение и увеличение длины.

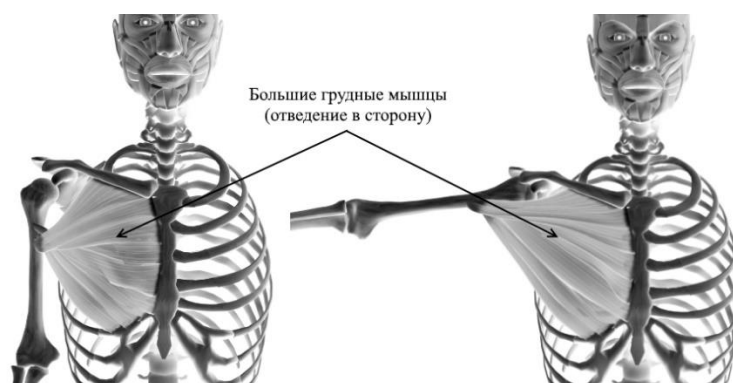


Рисунок 3.20 – Эксцентрическое сокращение больших грудных мышц при отведении руки в плечевом суставе в сторону

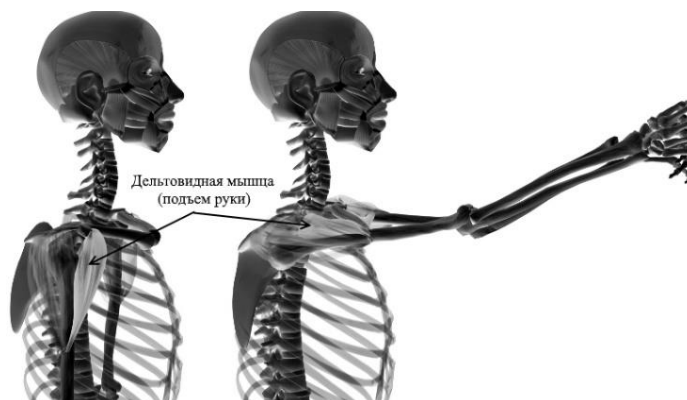


Рисунок 3.21 – Концентрическое сокращение дельтовидных мышц при подъеме руки в плечевом суставе



Рисунок 3.22 – Эксцентрическое сокращение большой круглой мышцы при отведении руки в плечевом суставе в сторону

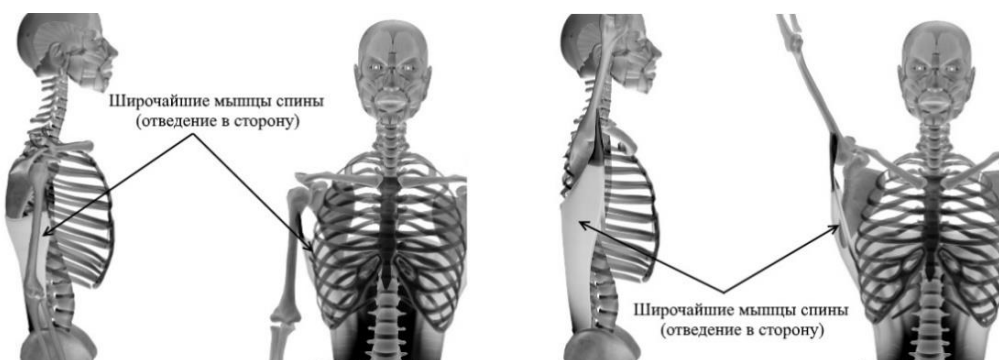


Рисунок 3.23 – Эксцентрическое сокращение широчайших мышц спины при отведении руки в плечевом суставе в сторону

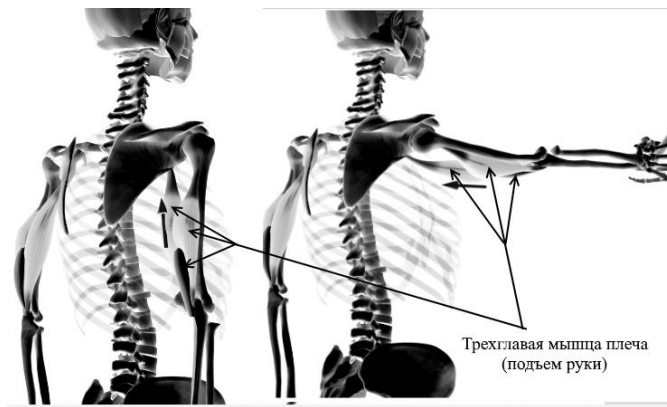


Рисунок 3.24 – Эксцентрическое сокращение трехглавой мышцы плеча при подъеме руки в плечевом суставе

Установленные группы мышц испытывают эксцентрическое сокращение, и таким образом, увеличивают в процессе динамического поведения свою длину и, таким образом, продольные дуговые размерные признаки, измеренные на внешней поверхности расположения мышц.

Согласно принципам конструирования одежды [148,149], основой для проектирования проймы плечевого изделия является подмышечная горизонталь, а также находящиеся на ней задний и передний углы подмышечной впадины. Вместе с тем, глубина впадины находится выше обеих антропометрических точек, при этом передний угол расположен выше заднего угла впадины. Таким образом в подмышечной области формируется область P1 и длина L1 условной линии между точкой основания проймы и точкой переднего среза одношовного рукава (Рис. 3.25).

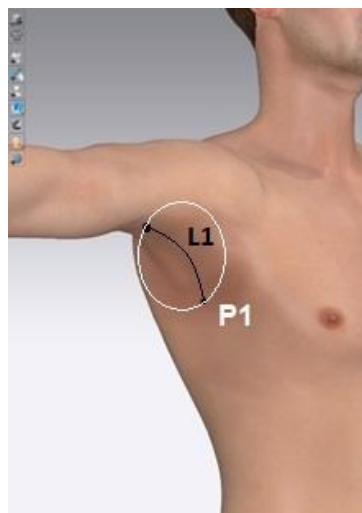


Рисунок 3.25 – Модифицированный аватар, полученный в результате экспорта 3д-сканов фигуры в динамической позе «отведение руки в сторону на 90 градусов» (область подмышечной впадины тела человека)

Таким образом, по итогам проведенного анализа работ в области антроподинамических исследований верхних конечностей тела человека установлено

отсутствие исследований изменчивости размерных признаков в области подмышечной впадины. Проведение такого рода исследования и стало целью последующего этапа диссертационной работы.

Для проведения исследования изменчивости размерных признаков человека в процессе физической активности выбрана половина верхней части тела человека (правая) от уровня обхвата бедер до уровня обхвата шеи, а также рука человека от плечевой точки до уровня обхвата запястья.

Первоначально для исследования торса выбраны вертикали от точек передних/задних углов подмышечной впадины, а также вертикаль, проходящая посередине данных углов. Для исследования руки выбраны линии середины внутренней/внешней поверхности локтевого сустава, исходящие из точек передних/задних углов подмышечной впадины, а также вертикаль посередине переднезаднего диаметра руки. Вертикали руки и торса, проведенные посередине переднезаднего диаметра руки и углов подмышечной впадины, пересекаются в одной точке в подмышечной впадине.

В качестве исходных горизонталей выбраны обхваты бедра, талии, груди четвертого (измеряется по аналогии с Ог4 согласно ГОСТ: Типовые фигуры женщин), плеча, запястья, а также обхват на уровне лучевой точки и подмышечная горизонталь.

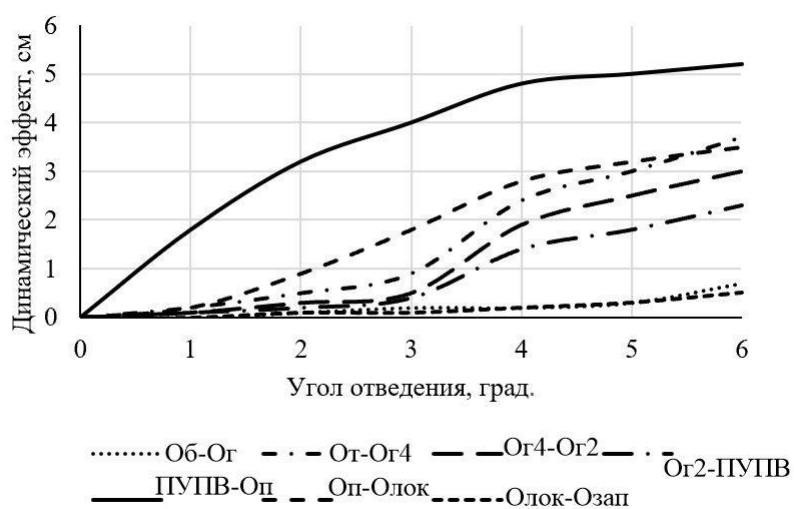
Для исследования динамики изменения размерных признаков и выявления максимальных изменений размерных признаков в процессе динамического поведения выбраны динамические схемы «отведение руки в сторону в плечевом суставе» и «подъем руки в плечевом суставе». Исходной позой принималось статическое положение измеряемых, описанное в работе [164]. Диапазон измерений для отведения руки в сторону принималось 0 – 180 град. Диапазон измерений для подъема руки принималось -60 – 180 град. При углах подъема -60 и -30 град. испытуемый отводил руку назад. Подъем руки на угол, меньший -60 град. является некомфортным и приносит испытуемым болевые ощущения.

Испытуемыми выступили 5 человек в возрасте 19 – 28 лет, рост 168 – 184 см, вес 55 – 78 кг.

Результаты дуговых измерений в области подмышечной впадины и внутренней стороны плеча, необходимые для расчета динамических эффектов при построении конструкции рукава, представлены в Таблицах 3.7 – 3.8, Рисунках 3.26 – 3.31. Результаты дуговых измерений передней и задней части туловища от угла отведения руки, необходимые для построения конструкции полочки и спинки плечевого изделия, представлены в Таблицах И.18 – И.19 (см. Приложение И).

Таблица 3.7 – Зависимость дуговых измерений от угла отведения руки в сторону

Линия измерения	Величина размерного признака, см	Угол отведения руки, град.						
		0	30	60	90	120	150	180
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Об-От	23,0	23,0	23,1	23,2	23,2	23,3	23,7
	От-От4	12,1	12,3	12,6	13,0	14,5	15,1	15,8
	От4-От2	4,5	4,6	4,8	5,0	6,4	7,0	7,5
	От2-ПУПВ	7,0	7,1	7,2	7,4	8,4	8,8	9,3
	ПУПВ-Оп	0	1,8	3,2	4,0	4,8	5,0	5,2
	Оп-Олок	19,0	19,2	19,9	20,8	21,8	22,2	22,5
	Олок -Озап	28,0	28,0	28,1	28,1	28,2	28,3	28,5
2	Об-От	23,3	23,3	23,4	23,4	23,5	23,7	23,8
	От-От4	12,4	12,6	12,9	13,3	13,6	14,3	15,1
	От4-От2	4,0	4,1	4,3	4,7	5,2	5,7	6,0
	От2-ТОП	7,9	8,1	8,5	9,3	10,6	11,9	13,0
	ТОП-ТОО	1,8	2,6	3,8	5,6	5,8	6,0	6,2
	ТОО- Олок	22,0	22,1	22,8	23,5	24,5	24,9	25,2
	Олок - Озап	27,3	27,3	27,4	27,5	27,5	27,6	27,6
3	Об-От	23,2	23,2	23,3	23,3	23,4	23,5	23,5
	От-От4	13,2	13,5	14,0	14,6	15,5	16,3	17,2
	От4-От2	4,9	5,0	5,2	5,5	5,8	6,1	6,4
	От2-ЗУПВ	5,5	6,2	6,7	7,4	8,1	8,8	9,5
	ЗУПВ-Оп	0	0,5	1,2	1,8	2,2	2,4	2,5
	Оп- Олок	21,5	21,9	22,5	23,4	24,5	25,3	26,0
	Олок - Озап	28,2	28,2	28,3	28,5	28,5	28,6	28,6

Рисунок 3.26 – Зависимость абсолютных значений динамического эффекта ($D_{\text{ф}}$, см) от угла отведения руки в сторону (град.) для исследуемых размерных признаков в области вертикали переднего угла подмышечной впадины

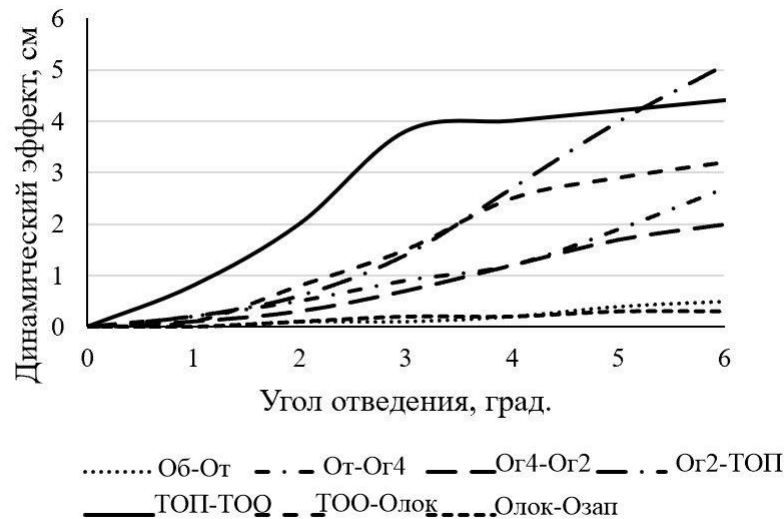


Рисунок 3.27 – Зависимость абсолютных значений динамического эффекта ($D_{эф}$, см) от угла отведения руки в сторону (град.) для исследуемых размерных признаков в области вертикали от точки середины переднезаднего диаметра плеча

Таблица 3.8 – Зависимость дуговых измерений от угла подъема руки вперед/назад

Линия измерения	РП	Угол отведения руки, град.								
		-60	-30	0	30	60	90	120	150	180
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Об-Ог	23,2	23,1	23,0	23,1	23,2	23,3	23,3	23,4	23,6
	Ог-Ог4	13,6	12,6	12,1	12,4	12,8	13,3	13,8	14,2	14,5
	Ог4-Ог2	4,8	4,6	4,5	4,6	4,9	5,2	5,5	6,0	6,3
	Ог2-ПУПВ	9,5	8,1	7,0	7,2	7,8	8,4	9,2	10,3	11,2
	ПУПВ-Оп	4,2	2,0	0	0,9	1,5	3,0	3,9	4,5	5,2
	Оп- Олок	19,8	19,5	19,0	18,8	18,5	18,2	18,0	18,5	19,4
	Олок - Озап	28,3	28,1	28,0	28,1	28,2	28,2	28,3	28,3	28,5
2	Об-Ог	23,5	23,4	23,3	23,4	23,5	23,5	23,6	23,8	23,9
	Ог-Ог4	13,9	12,8	12,4	12,5	13,0	13,5	13,8	14,5	15,0
	Ог4-Ог2	4,7	4,3	4,0	4,1	4,2	4,3	4,7	5,0	5,2
	Ог2-ТОП	9,9	9,0	7,9	8,4	9,0	10,3	11,2	12,0	12,4
	ТОП-ТОО	3,8	3,0	1,8	2,7	3,7	4,9	6,2	7,1	8,0
	ТОО- Олок	22,7	22,3	22,0	22,3	22,8	23,2	23,6	24,1	24,5
	Олок - Озап	27,5	27,4	27,3	27,3	27,4	27,5	27,5	27,7	27,7
3	Об-Ог	23,4	23,3	23,2	23,3	23,4	23,5	23,5	23,7	23,7
	Ог-Ог4	14,4	13,5	13,2	13,2	13,3	13,4	13,8	14,1	14,4
	Ог4-Ог2	5,5	5,1	4,9	4,9	5,0	5,1	5,4	5,7	6,0
	Ог2-ЗУПВ	7,5	6,4	5,5	6,2	7,1	7,8	8,5	9,1	9,7
	ЗУПВ-Оп	1,1	0,6	0	0,6	1,1	1,5	1,8	2,0	2,1
	Оп- Олок	22,1	21,7	21,5	21,7	22,0	22,6	23,1	23,7	24,2
	Олок - Озап	28,4	28,2	28,2	28,3	28,4	28,4	28,5	28,5	28,6

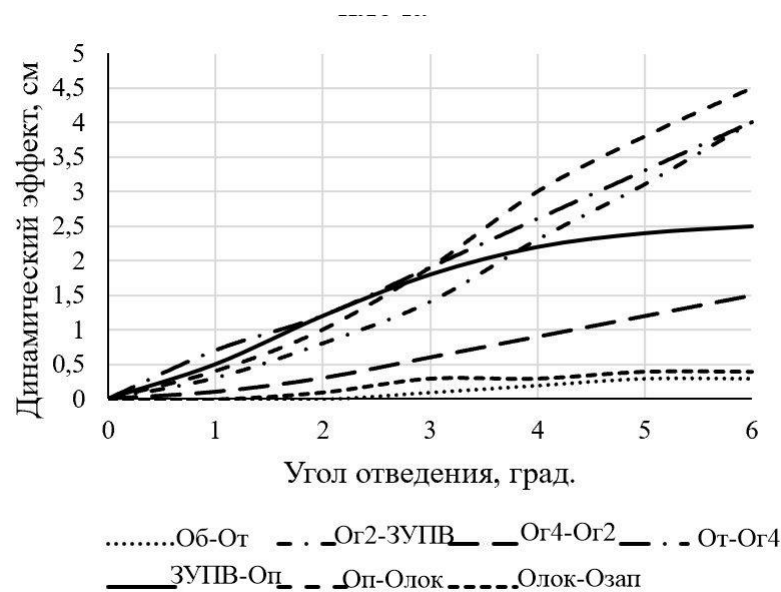


Рисунок 3.28 – Зависимость абсолютных значений динамического эффекта (Д_{эф}, см) от угла отведения руки в сторону (град.) для исследуемых размерных признаков в области вертикали заднего угла подмышечной впадины

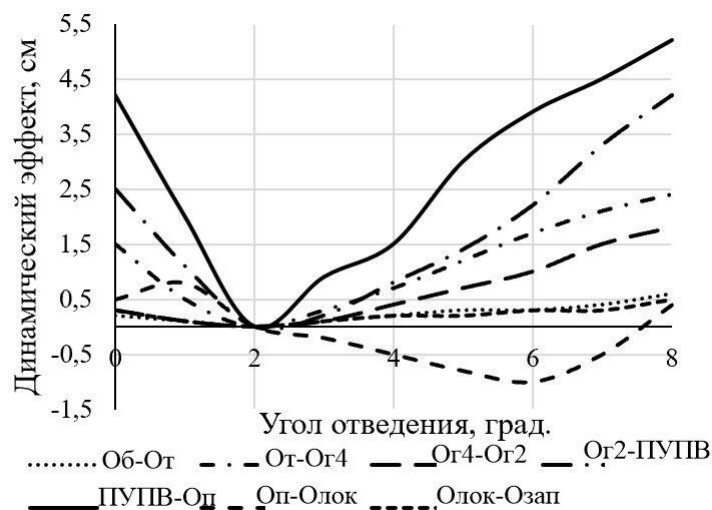


Рисунок 3.29 – Зависимость абсолютных значений динамического эффекта (Д_{эф}, см) от угла подъема руки вперед/назад (град.) для исследуемых размерных признаков в области вертикали переднего угла подмышечной впадины

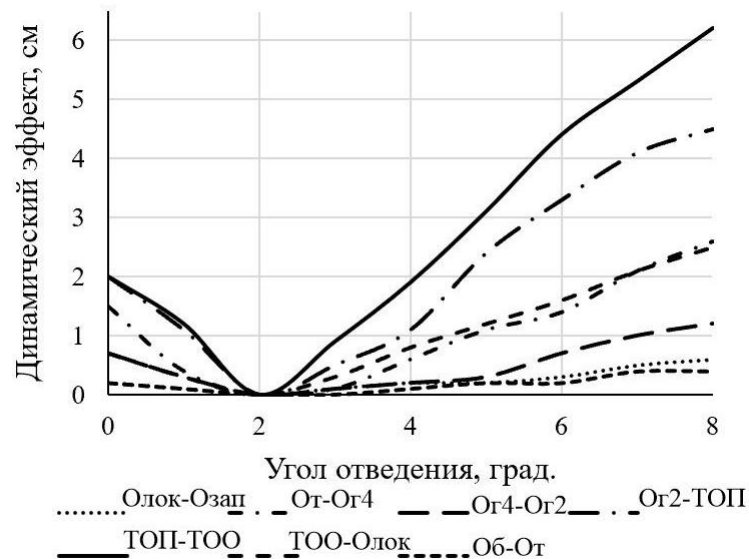


Рисунок 3.30 – Зависимость абсолютных значений динамического эффекта ($D_{\text{эф}}$, см) от угла подъема руки вперед/назад (град.) для исследуемых размерных признаков в области вертикали от точки середины переднезаднего диаметра плеча

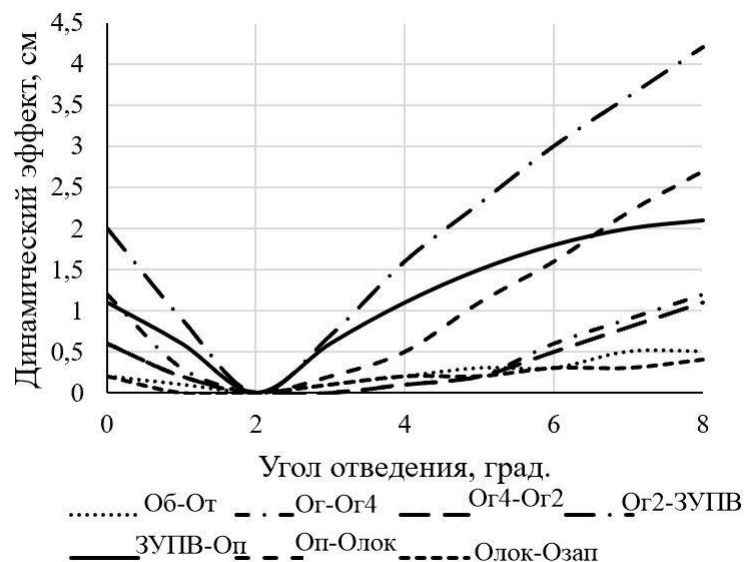


Рисунок 3.31 – Зависимость абсолютных значений динамического эффекта ($D_{\text{эф}}$, см) от угла подъема руки вперед/назад (град.) для исследуемых размерных признаков в области вертикали заднего угла подмышечной впадины

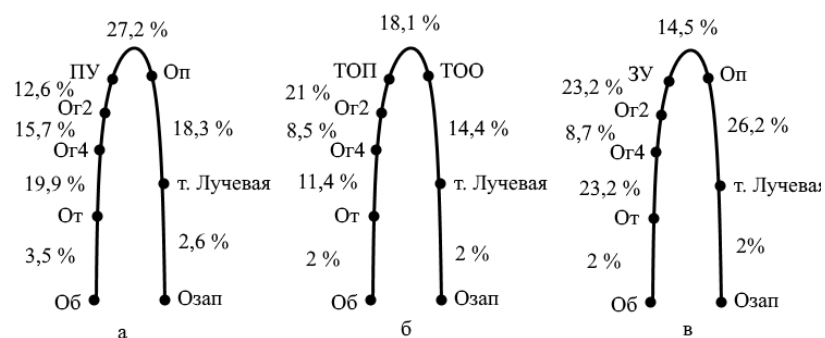


Рисунок 3.32 – Процентное распределение динамического эффекта РП при отведении руки в плечевом суставе

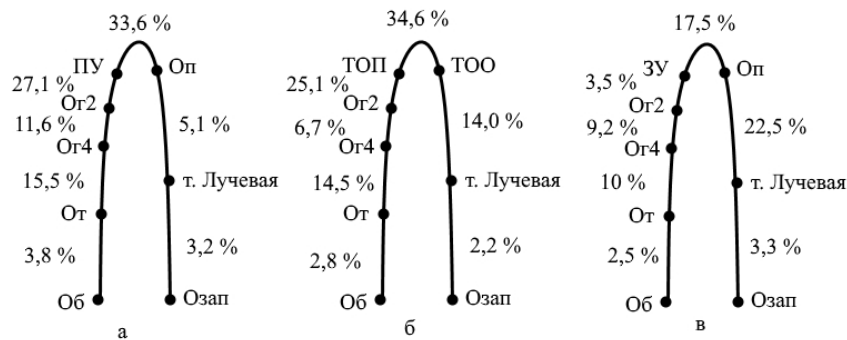


Рисунок 3.33 – Процентное распределение динамического эффекта РП при подъеме руки в плечевом суставе

По итогам проведенного исследования установлены максимальные величины изменений размерных признаков в процессе динамического поведения верхних конечностей, а также максимальные динамические эффекты РП, процентное распределение которых представлено на Рисунке 3.32 и Рисунке 3.33.

Установлено, что максимальные изменения РП достигаются при максимальной амплитуде движений.

В процессе выполнения человеком бытовых движений большинство динамических поз характеризуется отведением верхних конечностей на угол 0 – 90 градусов [165,166]. Отведения на угол 90 – 180 град при выполнении бытовых движений наблюдаются крайне редко и необходимы, когда человеку необходимо достать или закрепить за предмет, находящийся на высоте, превышающий рост человека. В процессе же выполнения спортивных упражнений, отведения на угол 90 – 180 град являются базовой составляющей биомеханического описания движений верхних конечностей.

По итогам проведенного антроподинамического исследования установлены максимальные приращения размерных признаков при отведении руки в плечевом суставе в диапазоне 0 – 180 град Об-От: 0,3 – 0,7 см (+1,2 ... 3,2 %), От-Ог4: 2,7– 4,0 см (+21.8 ...+30.7 %), Ог4-Ог2: 1,5 – 3,0 см (+30.4 ... +66.7 %), Ог2-ПУПВ/ТОП/ЗУПВ: 2,3 – 5,1 см (+31.8...+72.4 %), ПУПВ/ТОП/ЗУПВ-Оп/ТОО/Оп-Олок: 3,2 – 4,5 см (+14.2...+21.1 %), Олок - Озап: 0,3 – 0,5 см (+1.0...1.6 %). Максимальное приращение вдоль всех размерных признаков от уровня Об до Озап составило 12,8 – 23 см (+24.4...44.0 %).

Установлено, что наибольшему изменению подвергаются зоны расположения в одежде обхвата груди, нижней части проймы полочки и спинки, нижние части оката рукава от углов подмышечной впадины.

По итогам проведенного антроподинамического исследования установлены максимальные приращения размерных признаков при подъеме руки вперед/назад в

диапазоне $-60 - 180$ град Об-От: $0,5 - 0,6$ см ($+2,2 \dots 2,6$ %), От-От4: $1,2 - 2,4$ см ($+9.1 \dots +19.4$ %), От4-От2: $1,1 - 1,8$ см ($+27.5 \dots +36.7$ %), От2-ПУПВ/ТОП/ЗУПВ: $4,2 - 4,5$ см ($+60.0 \dots +90.0$ %), ПУПВ/ТОП/ЗУПВ-Оп/ТОО/Оп: $2,1 - 6,2$ см (до 344.4 %), Оп/ТОО/Оп-Олок: $0,4 - 2,5$ см ($+2.1 \dots +11.6$ %), Олок - Озап: $0,4 - 0,5$ см ($+1.4 \dots 1.7$ %). Максимальное приращение вдоль всех размерных признаков от уровня Об до Озап составило $12,8 - 23$ см ($+10.3 \dots 17.8$ %).



Рисунок 3.34 - Образец плечевой одежды с втачным одношовным рукавом на модифицированном виртуальном аватаре (динамическая поза – «отведение руки в сторону на 90 градусов», 3 вида)

В соответствии с принципами эргономического проектирования одежды, необходимо обеспечить антропометрическое соответствие одежды в динамике, для этого необходимо обеспечить соответствие конструктивных отрезков стана и рукава установленным параметрам динамического поведения. Устранение проблемы динамического несоответствия швейных изделий в диапазоне движений бытового назначения обеспечивается параметрами ширины рукава, высоты оката, прибавкой на свободу облегания на уровне От2, при этом параметры являются функционально зависимыми между собой переменными. При недостаточности значений представленных параметров динамическое поведение изделия обеспечивается поднятием изделия вверх, отведением изделия в сторону/вперед, силами натяжений, направленные из области нижних участков проймы/оката рукава, в результате чего образуются характерно направленные складки в направлении сил натяжения.

Возможны два способа обеспечения антроподинамического соответствия конструкции плотнооблегающей спортивной одежды.

Первый способ заключается в учете недостающих величин размерных признаков в конструкции изделия и добавлении в само изделие дополнительного текстильного материала. При этом можно использовать как добавочное значение динамический эффект, выраженного в процентах или в метрической системе, так и изначально при построении

конструкции в виде новых значений размерных признаков, полученных в антроподинамическом исследовании. В изделиях, полученных посредством первого способа, характеризуются объемными складками, формирующимися в статическом положении человека в области боковых частей полочки, спинки узла «пройма – рукав», на внутренней поверхности рукава. Таким образом резко ухудшаются эстетические характеристики изделия в статическом состоянии.

Второй способ основывается на способности эластичных трикотажных полотен, применяемых в производстве спортивной одежды, растягиваться в трех направлениях: вдоль петельных столбиков, вдоль петельных рядов, по диагонали в направлении полотна (по косой).

Для обеспечения антропометрического соответствия изделий в процессе динамического поведения предлагается использовать в боковых частях полочки и спинки, а также в области бокового среза рукава детали, изготовленные из высокоэластичных трикотажных полотен 3 группы растяжимости, с заданными показателями растяжения.

Таблица 3.9 – Относительные показатели продольного растяжения высокоэластичных трикотажных полотен

Вид детали	РП	Относительное растяжение участка детали	Относительное растяжение детали
Перед, 1	От-Ог4	31%	49%
	Ог4-Ог2	67%	
	Ог2-ПУПВ	33%	
Спинка, 3	От-Ог4	30%	46%
	Ог4-Ог2	31%	
	Ог2-ЗУПВ	73%	
Рукав, 2	ТОП-ТОО	244%	32%
	ТОО-Олок	15%	

Апробация предлагаемого способа обеспечения антроподинамического соответствия в области сопряжения рукава с проймой проведена на примере конструкции опытного изделия, построенной выше с помощью предлагаемого способа конструирования развертки одношовного рукава. В данной конструкции добавлены участки повышенной растяжимости в продольном направлении. Данные о параметрах растяжимости взяты из Таблицы 3.9. Для проверки предлагаемого способа выполнено поднятие руки аватаром вверх на 90 и 180 град. вверх. Карты напряжения и деформации, указанные в Таблице 3.10, Таблице И.20 (см. Приложение И), доказывают целесообразность введения участков

повышенной растяжимости в конструкцию компрессионного изделия спортивного назначения.

Таблица 3.10 – Образцы плечевой одежды с втачным одношовным рукавом и участками повышенной растяжимости на виртуальных аватарах

№	Характеристика	Изображение			
Динамическая поза «отведение руки в сторону на 90 градусов»					
1	3 вида				
2	Карта деформаций				
3	Карта напряженности				
Динамическая поза «отведение руки в сторону на 180 градусов»					
4	3 вида				
5	Карта деформаций				
6	Карта напряженности				

Выводы по 3 главе:

1. Предложен способ достижения высоких показателей эргономических характеристик ВФ КСИ за счет повышения мышечной активности, в основе которого лежит процесс механической стимуляции элементов мышечной системы.
2. По результатам проведенного биомеханического анализа тренировочной деятельности спортсмена разработана база биомеханической информации, включающей 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.
3. Разработана портативная система измерения мышечной активности спортсмена, схема получения и обработки сигналов МЭС, а также разработан скрипт обработки исходных МЭС с помощью фильтра Баттерворта. Разработанная система позволяет в интерактивном режиме отслеживать изменение МЭС при эксплуатации ВФКО в процессе физической активности спортсмена.
4. Проведена валидация разработанной системы измерения мышечной активности спортсмена в статических условиях состояния спортсмена, в результате установлен удовлетворительный уровень соответствия полученных характеристик системы, предъявляемым к измерительной системе требованиям.
5. Разработан способ конструирования развертки одношовного рукава ВФКО, основанный на использовании в совокупности с существующим перечнем размерных признаков, перечня дополнительных размерных признаков, учитывающих антропоморфологические особенности строения тела спортсмена.
6. Доказана эффективность способа конструирования развертки одношовного втачного рукава при разработке плотнооблегающих и компрессионных изделий по результатам сравнительного анализа посадки плотнооблегающих изделий, конструкции которых построены по существующим методикам построения изделия с втачным рукавом.
7. В результате проведенного антроподинамического исследования 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.
8. Предложено при проектировании разверток плечевых изделий использовать трикотажные полотна, усилие растяжения которых меньше усилия растяжения полотен, используемых в качестве основного материала, с целью компенсации величин динамических эффектов в изделиях из трикотажа.

ГЛАВА 4. ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВЫСОКОФУНКЦИОНАЛЬНОЙ КОМПРЕССИОННОЙ ОДЕЖДЫ СПОРТИВНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

4.1 ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДАВЛЕНИЯ В СИСТЕМЕ «ГЕТЕРОГЕННАЯ КОМПРЕССИОННАЯ ОБОЛОЧКА – ТЕЛО СПОРТСМЕНА»

В качестве апробации способа проектирования гетерогенных компрессионных оболочек со свойствами гибридной эластичности разработана цифровая модель образца компрессионной оболочки и проведен вычислительный эксперимент с учетом разработанной математической модели на основе численных методов и информационных баз данных показателей свойств материалов, геометрических параметров, параметров конструкции.

Постановка вычислительного эксперимента заключается 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 и, на его 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.

Согласно приведенным в данной главе обозначениям, зона «щиколотка-голень» расположена на антропометрических уровнях L_j^1 - L_j^6 . Каждый антропометрический уровень имеет до 6 областей переменной кривизны, отличной от области среднего радиуса кривизны, рассчитанного исходя из необходимости достижения рекомендованной величины давления. Области среднего радиуса кривизны, здесь и далее, названы областями гомогенности параметров компрессионного давления (гомогенные зоны КИ). Значения натяжений трикотажного полотна рассчитаны исходя из формулы, указанной на Рисунке 2.14. При расчете принимались 3 значения поправочных коэффициентов: ПК, учитывающего приборную погрешность измерения для указанного диапазона КД и ПК, полученного для экспресс-модели прогнозирования КД, учитывающего взаимосвязь деформационных характеристик мягких тканей спортсмена и физико-механические свойства трикотажного полотна. Полученный набор натяжений полотна записан для каждого радиуса кривизны и антропометрического уровня в диапазоне от наименьшего до наибольшего, с целью его дальнейшей оптимизации.

На основе полученных данных о физико-механических свойствах материалов, представленных в Приложении Д (Табл. Д.3, Табл. Д.4), получен набор относительных растяжений полотна для образца №3, обладающего одной из максимальных в выборке величин усилий растяжения полотна, величиной энергии растяжения WT и эластичностью RT при относительно малом отношении RT/WT , характеризующего гистерезис кривой нагрузки/разгрузки. Последующим этапом по формуле $(\epsilon^i - 100)/\epsilon^i$ получен перечень относительных отрицательных конструктивных прибавок в диапазоне от 17 до 54 %. Полученная база исходных параметров конструкции гетерогенного КИ с зонами гибридной эластичности представлена в Таблице 4.1.

Наиболее важным аспектом анализа базы исходных параметров, равно как с целью использования в процессе проектирования в условиях промышленного производства, так и с целью использования при высокоточных вычислительных экспериментах, является ее оптимизация.

Критерии оптимизации, для возможного изготовления КИ и для численного моделирования различаются. Разработка алгоритмов оптимизации, определение взаимосвязей между критериями оптимизации, выявление наиболее важных критериев, а также разработка или адаптация ПО для проведения оптимизации является областью отдельной научной работы. В данном диссертационном исследовании выбраны основные критерии исходя из базовых принципов изготовления трикотажных изделий. Оптимизированная база параметров конструкции гетерогенного КИ представлена в Таблице 4.2.

Первым шагом построения конструкции гетерогенного КИ произведено нанесение на область построения чертежа габаритных размеров конструкции в соответствии с перечнем РП на антропометрических уровнях $L_j^1 - L_j^6$ (Табл. 4.2). Далее построением кривых сформирован контур конструкции (боковые срезы). Зоны гибридной эластичности нанесены также на 6 антропометрических уровнях в соответствии с полярными координатами (Рис. 4.1). Учитывая технологические особенности изготовления изделий из трикотажного полотна, произведена аппроксимация зон гибридной эластичности и сформированы единые зоны на деталях правой и левой частей изделия (Рис. 4.2). Аппроксимация произведена с позиции максимально возможной компенсации необходимого уровня натяжения на каждом антропометрическом уровне. Используя распределение относительных отрицательных конструктивных прибавок, рассчитанных в зависимости от процентного распределения обхвата по конструктивным участкам, произведено заужение (редукция) деталей конструкции изделия и, в результате, получены

окончательные контуры деталей гетерогенного КИ с зонами гибридной эластичности (Рис. 4.3). Подробный алгоритм построения конструкции представлен в Таблице И.21 (см. Приложение И).

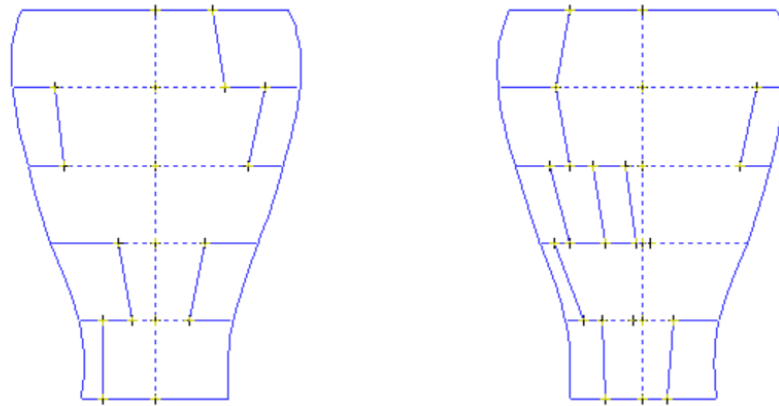


Рисунок 4.1 – Построение конструкции гетерогенного КИ с зонами гибридной эластичности (нанесение зон в соответствии с полярными координатами)

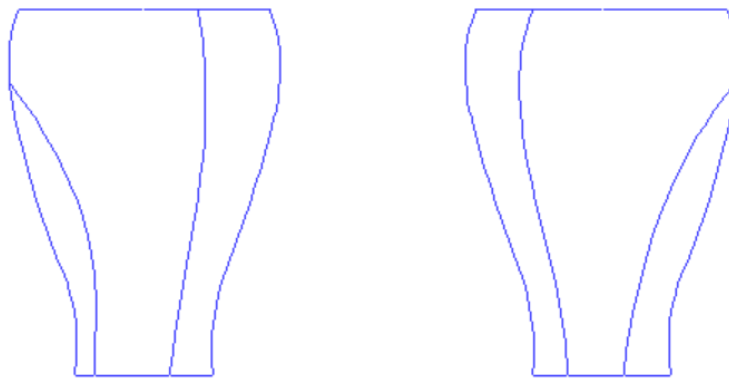


Рисунок 4.2 - Построение конструкции гетерогенного КИ с зонами гибридной эластичности (аппроксимация зон)

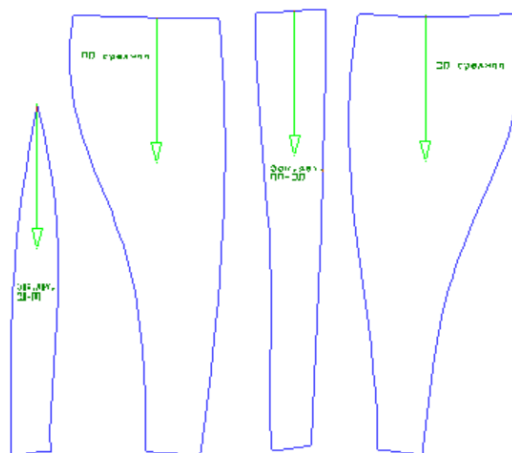


Рисунок 4.3 – Конструкция гетерогенного КИ с зонами гибридной эластичности

Таблица 4.2 – Оптимизированная база параметров конструкции гетерогенного КИ с зонами гибридной эластичности. Критерий оптимизации: способ изготовления – «кроеное изделие», погрешность раскроя – «до 2 мм», наличие связанности параметров в продольном направлении, длина участка в поперечном направлении – «не менее 20 мм»

Размерные признаки, мм										Напряжение полотна, Н/м						Отрицательные конструктивные прибавки, мм																									
№ п/п	№ п/с	σ_1^i	σ_2^i	σ_3^i	σ_4^i	σ_5^i	σ_6^i	Π_1^i	Π_2^i	Π_3^i	Π_4^i	Π_5^i	Π_6^i	Π_7^i	Π_8^i	Π_9^i	Π_{10}^i																								
1	2	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15																												
1	L ₁ ¹	226				69->				129				->50				27				->50																			
2	L ₁ ²	236				186				76								57				10																			
3	L ₁ ³	325				->61				99				61->				20				10																			
4	L ₁ ⁴	393				160				64								127				36																			
5	L ₁ ⁵	441				->144				261				129				59				144->																			
6	L ₁ ⁶	410				->105				136				62				105->				155																			
№ п/п	№ п/с	Процентное распределение обхвата по участкам δ , %										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	$\Delta\Pi_1^i$	$\Delta\Pi_2^i$	$\Delta\Pi_3^i$	$\Delta\Pi_4^i$	$\Delta\Pi_5^i$	$\Delta\Pi_6^i$	σ , Н/м	δ , %	ε , %	$\Delta\Pi$, %	Π , мм																							
16	L ₁ ¹	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34																							
7	L ₁ ¹	->65				25				65->				->34				86				10				164				39				9							
8	L ₁ ²	50				15				48				31				90				35				167				40				33							
9	L ₁ ³	10	15	15					35	42	20					96				60				170				41				80									
10	L ₁ ⁴	65				30				50				31				117				5				182				45				9							
11	L ₁ ⁵	->75				10				75->				->51				29				51->				15				190				47				31			
12	L ₁ ⁶	100								38								122				0				185				46				-							

На основе разработанной конструкции гетерогенного КИ с зонами гибридной эластичности, с использованием трехмерной модели голени спортсмена, разработана трехмерная модель системы «голень-компрессионная оболочка».

Необходимым условием проведения вычислительного эксперимента при решении стационарной задачи является задание начальных³ и граничных условий⁴. Твёрдотельная модель в формате STEP, с заданными граничными и начальными условиями, распределёнными нагрузками представлена на Рисунке 4.4. Перечень начальных и граничных условий представлен ниже и выбран с позиции его минимизации, но при этом обеспечивающий достоверность представления физической модели:

- толщина оболочки: 0.2 мм
- вес части тела (голени): 3000 г.
- вес оболочки: 12 г.
- коэффициент трения: 0.46
- влажность: 50 %
- плотность мышечной ткани: 1.6 г/м³
- модуль Юнга: 0.05 МПа
- коэффициент Пуассона: 0.49

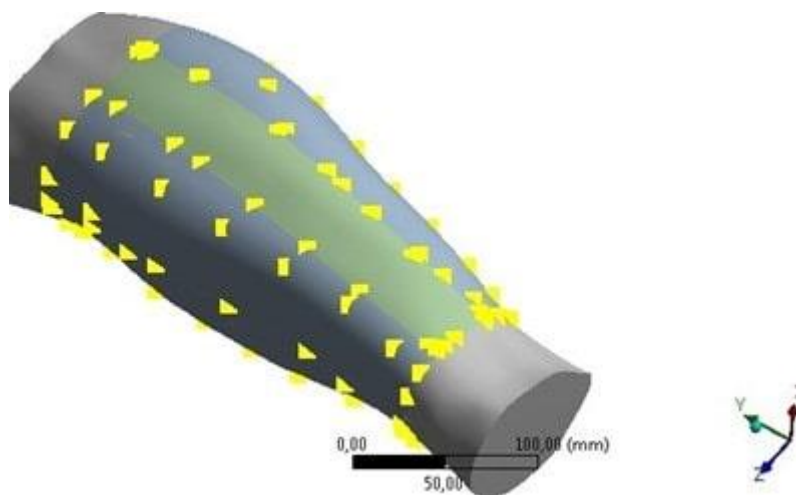


Рисунок 4.4 – Модель системы «голень – компрессионная оболочка» с приложением поля распределённых нагрузок

³ Начальные условия – дополнение к основному дифференциальному уравнению, задающее его поведение в начальный момент времени или являющиеся значениями переменных на нулевом итерационном шаге в стационарной задаче.

⁴ Граничные условия – дополнение к основному дифференциальному уравнению, задающее его поведение на границе рассматриваемой области

После оптимизации топологии и построения конечно-элементной сетки в ПО ANSYS 19.1 произведен вычислительный эксперимент (*Simulation*). Результаты расчета представлены на Рисунках 4.5 – 4.6 в виде карты распределения компрессионного давления.

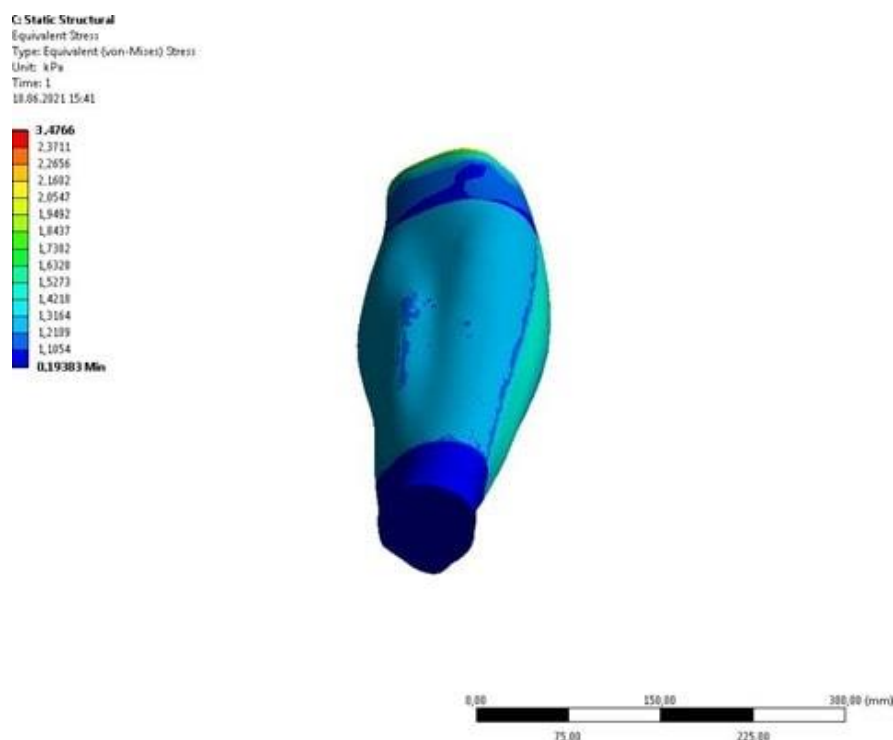


Рисунок 4.5 – Результаты вычислительного эксперимента модели «голень-компрессионная оболочка» в виде карты компрессионного давления

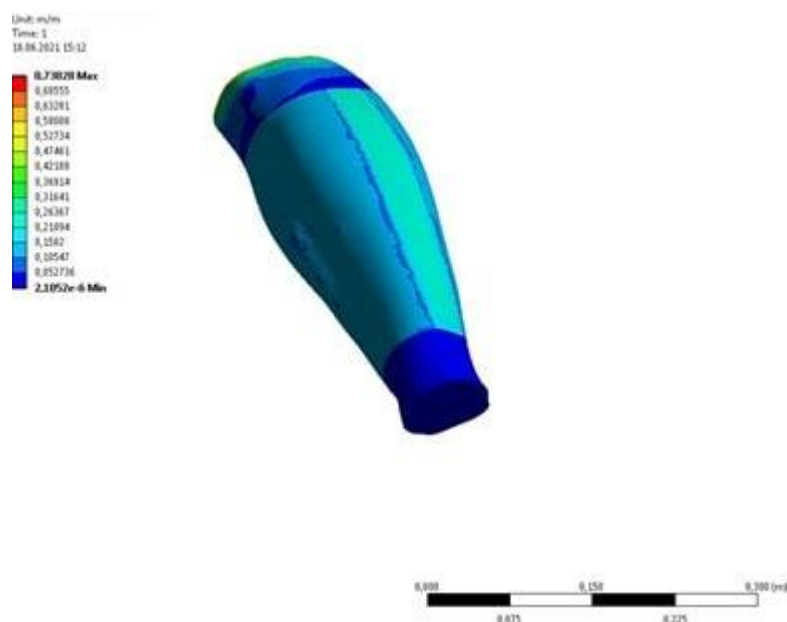


Рисунок 4.6 – Результаты вычислительного эксперимента модели «голень-компрессионная оболочка» в виде карты эквивалентных эластомерных деформаций

Величина компрессионного давления, в зонах 1 (соответствует левой боковой детали в конструкции КИ согласно Рисунку 4.3) равна 1,1054 кПа; в зоне 2 (соответствует деталям передней и задней половинок КИ) равна 1,2189 кПа; в зоне 3 (соответствует правой боковой детали в конструкции КИ) равна 1,4210 кПа. Расчет компрессионного давления согласно закону Лапласа, используемому в существующем процессе проектирования КИ, и произведенный для образца трикотажного полотна №3, показал следующие величины КД: 3,45 кПа для зоны 1; 1,62 кПа для зоны 2; 3,88 кПа для зоны 3. Рекомендованные физиологами величины КД для исследуемой области составляют 1867/2399 кПа. Таким образом, хотя в данном расчете и не были достигнуты рекомендованные величины давления, но установлено однозначно определенное снижения величин КД в зонах 1 и 3 (1.1 кПа против 3.45 кПа в зоне 1 и 1.42 кПа против 3.88 кПа в зоне 3). Анализ результатов вычислительного эксперимента компрессионного давления в системе «гетерогенное КИ-тело человека» свидетельствует о достижении однородности КД в пределах погрешности, допустимой по итогам проведенных в Главе 2 экспериментов. С другой стороны, выявлена необходимость проведения серий вычислительных экспериментов для уточнения разработанных способов проектирования гетерогенных КИ с зонами гибридной эластичности с позиции исследования влияния технологических особенностей обработки и соединения деталей КИ из трикотажного полотна.

По итогам промышленной апробации разработанного способа, изготовлены опытные образцы гетерогенных КИСН (Рисунок 4.7). В качестве способа изготовления выбрано изготовление на кругловязальном оборудовании.

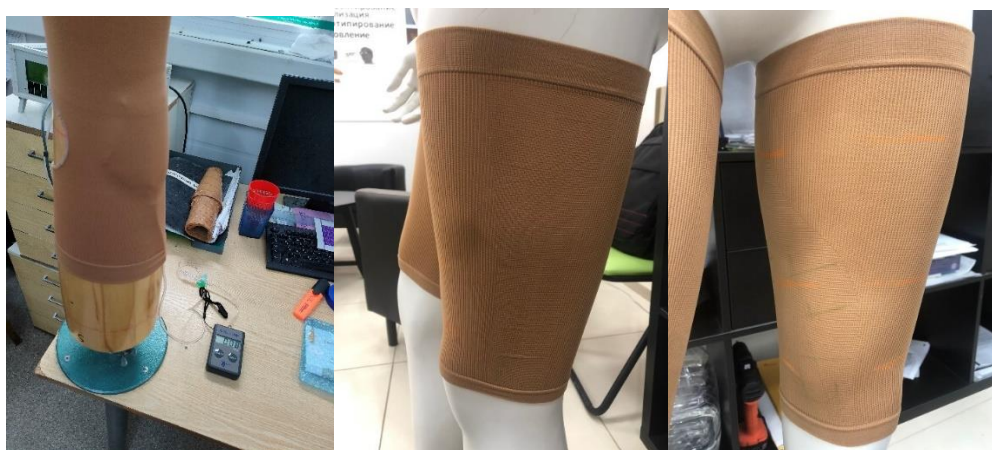


Рисунок 4.7 – Опытные образцы гетерогенных КИСН, полученных на кругловязальном оборудовании

Измерения компрессионного воздействия разработанных образцов на тело человека получены 2 способами: (измерением «абсолютного» давления на модели ноги из дерева (использовано оборудование MST Salzmänn), и измерением на испытуемых (5 чел.). Анализ полученных данных свидетельствует о соответствии данных вычислительного моделирования и данных, полученных на испытуемых.

Использование разработанных способов прогнозирования КД и проектирования гетерогенных КИ с зонами гибридной эластичности позволит производителям КИ обеспечить уровни давления, рекомендованные медиками и физиологами. Это в свою очередь позволит повысить эффективность КИ за счет нивелирования негативного воздействия КД и повысить удовлетворенность качеством приобретаемой КОСН.

4.2 ОБОБЩЕННАЯ СХЕМА ПРОЦЕССА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВФ КСИ

С учетом систематизации результатов исследований, проведенных в данной главе 3, составлена структурная блок-схема процесса проектирования ВФ КСИ с функцией повышения показателей мышечной активности.

Приведенная на Рисунке 4.8 блок-схема включает в себя 3 основных блока: блок, определяющий этапы разработки контурных карт зонально-распределенного компрессионного воздействия на основе изучения работы мышечной системы в зависимости от вида и характеристик спортивной нагрузки (на Рисунке 4.8 обозначен цифрой 3); блок разработки разверток конструкций ВФ КСИ на Рисунке 4.8 обозначен цифрой 5); блок технологической информации о проектируемом изделии (на Рисунке 4.8 обозначен цифрой 4).

В первую очередь проектирование ВФ КСИ начинается с составления перечня требований к изделию, систематизации и последовательной работы с информацией об особенностях спортивной нагрузки. По итогам формируется входная информация для блока № 5 в виде контурных карт зонально-распределенного компрессионного воздействия и уровней компрессионного давления.

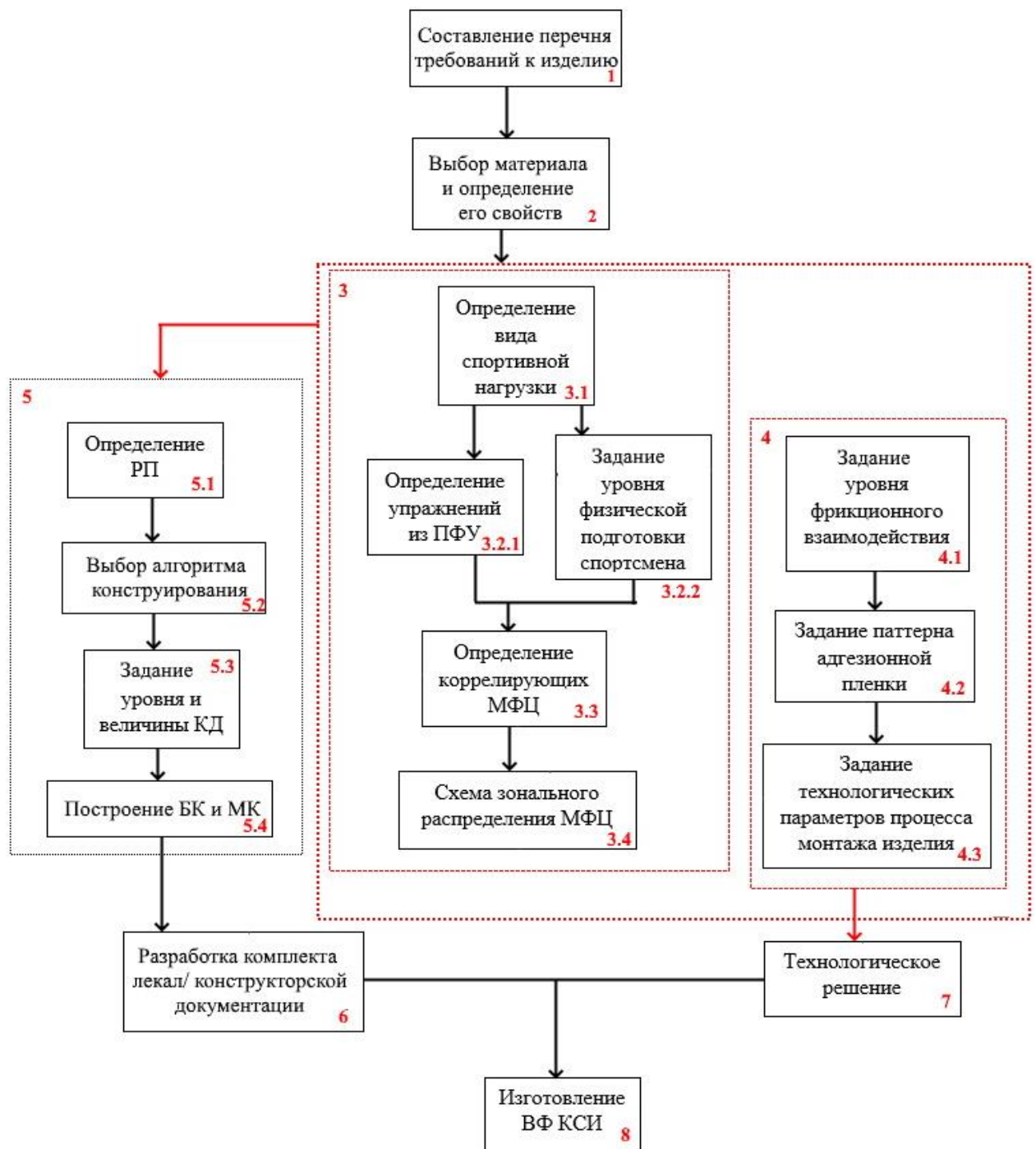


Рисунок 4.8 – Структурная блок-схема процесса проектирования ВФ КСИ

После сбора и формирования необходимой антропометрической информации разработка разверток конструкций ВФ КСИ происходит с учетом особенностей антропоморфологического строения. Это необходимо для обеспечения соответствия проектируемого изделия заявленным требованиям.

На соответствие изделия заданным требованиям также влияют свойства основного материала (трикотажного полотна с компрессионными свойствами), параметры адгезионных пленок (АП) и их взаимовлияние. Поэтому их необходимо учесть на стадиях технологической подготовки процесса изготовления ВФ КСИ.

Предлагаемый метод предполагает выбор способа изготовления изделия на начальном этапе проектирования: *массовое производство, кастомизированное производство* (включая масс-кастомизированное производство), *изготовление по индивидуальному заказу*.

Изготовление по индивидуальному заказу обладает рядом преимуществ, среди которых возможность точного построения разверток компрессионной одежды на основе использования антропометрической информации о теле конкретного заказчика, учета особенностей морфологического строения тела человека; возможность точного задания и контроля уровня фрикционного взаимодействия путем задания параметров поверхности тела человека (параметров кожи, волосяного покрова на теле человека, потоотделения) и последующего изменения параметров адгезионного покрытия; учет конкретных физических упражнений при разработке контурной карты распределения адгезионного покрытия (особенно актуально для сферы спорта высших достижений). Основным недостатком как индивидуального изготовления изделия, так и кастомизированного производства, является его нерентабельность при изготовлении ВФКО в виде цельновязаного изделия, за исключением индивидуальных заказов для спортсменов, выступающих на олимпийских играх и спортивных мероприятиях всероссийского, международного уровня. В остальных случаях приоритетным способом является изготовление швейного изделия.

Массовое производство ВФКО является возможным как в виде *швейного*, так и в виде *цельновязаного* изделия. Задание зонального распределения компрессионного давления возможно 2 способами:

- нанесением адгезионного покрытия, учитывающего дифференцированное компрессионное давление, на кроеные детали по лекалам базовой конструкции изделия;
- нанесением адгезионного покрытия на кроеные детали по лекалам модельной конструкции изделия.

БК подразумевает наличие трех основных деталей плечевого изделия: перед, спинка, рукав. МК подразумевает наличие совокупности деталей изделия, соответствующих зонам распределения КД.

Преимуществом первого упомянутого способа является значительное снижение трудозатрат, недостатком – более слабое закрепление деталей на соответствующих участках тела спортсмена, в отличие от получаемого в случае использования второго способа. Недостатками применения второго упомянутого способа является формирование новых участков дифференцированного распределения компрессионного давления в области соединительных швов; а также ухудшение субъективной оценки от носки изделия за счет трения в области соединительных швов.

4.2.1 Апробация метода проектирования и изготовление ВФ КОСН

В качестве апробации опытного образца изделия ВФК проведена опытная носка в процессе эксплуатации.

В качестве исходной информации предложен следующий блок исходной информации:

- вид спортивной нагрузки: анаэробная;
- задействованная группа мышц: мышцы ног;
- примеры спортивных упражнений: приседания, становая тяга;
- используемые схемы МФЦ (взаимосвязи векторов сухожильных сил в качестве зависимостей вида G (абсолютные углы основной мышцы) = F (абсолютные углы дополнительных мышц): упражнение 2 и упражнение 11 (см. Приложение Ж);
- уровень физической подготовки спортсмена: профессиональный;
- уровень компрессионного давления: $L_j^1 - L_j^2 = 2399$ Па, $L_j^3 - L_j^5 = 1867$ Па, $L_j^6 - L_j^8 = 1067$ Па, $L_j^9 - L_j^{10} = 1333$ Па, $L_j^{11} - L_j^{12} = 1067$ Па, $L_j^{13} = 1530$ Па, $L_j^{14} = 1999$ Па, $L_j^{15} = 1150$ Па.
- материал: компрессионных трикотаж - образец 5 (см. Приложение Д);
- параметры АСП (Табл. 4.5);
- способ изготовления: швейное изделие;
- схема выполнения спортивных упражнений: 2 подхода по 5 повторений в каждом из 2 выполняемых упражнений с измерительным устройством и 1 предварительный подход по 10 упражнений без измерительного устройства.

Для получения блока антропометрической информации произведено 3d-сканирование испытуемого с помощью сканера Artec Eva. Размерные признаки получены с помощью набора измерительных инструментов «Прямая», «Дуга» в ПО Fusion 360. Размерные признаки, не измеряемые с помощью проекций, и являющиеся кривой, получены в виде суммы прямолинейных отрезков и длин дуг кривой. На Рисунке 4.9 представлена 3d-модель испытуемого спортсмена после проведения серии измерений размерных признаков.

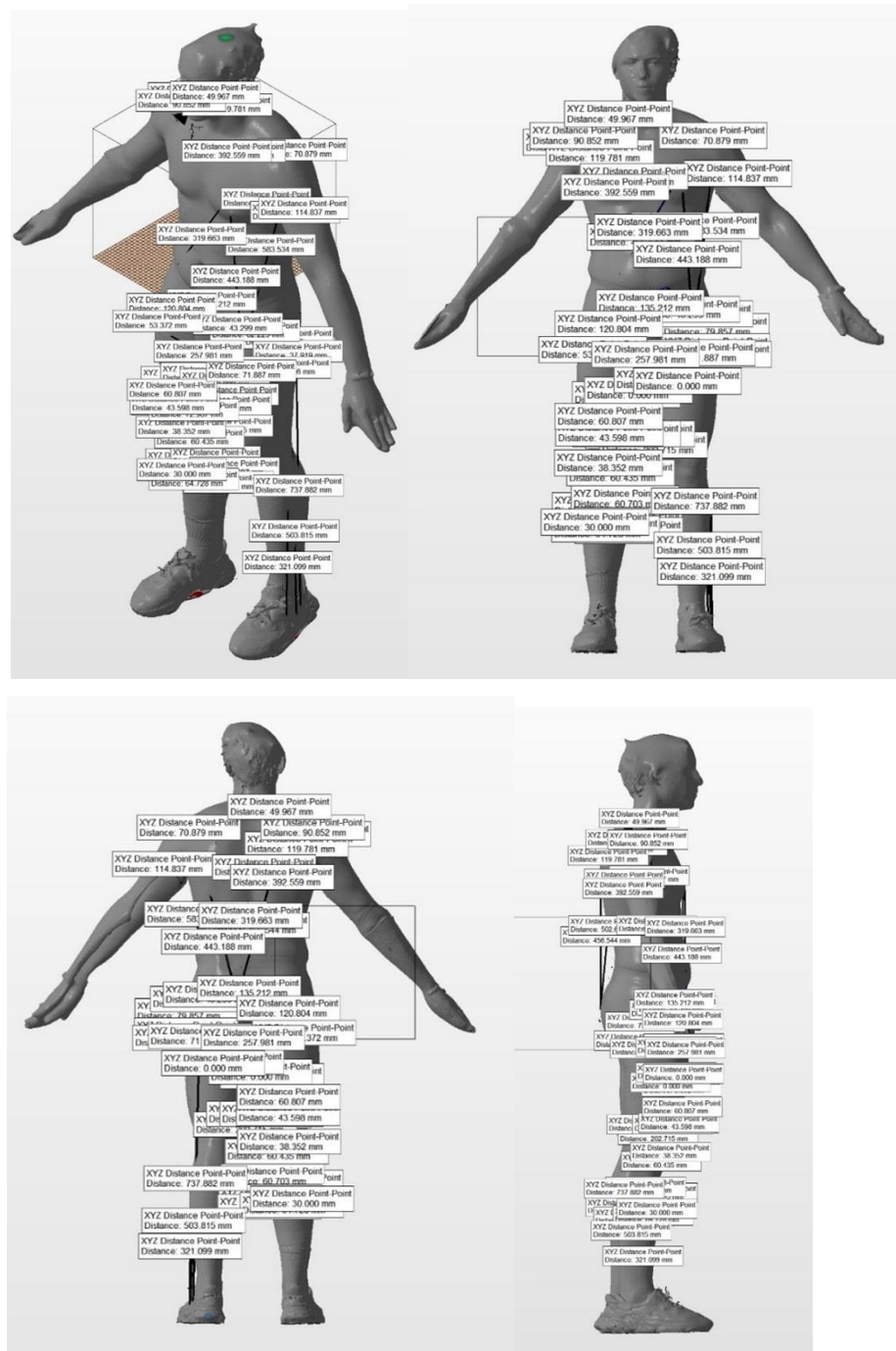


Рисунок 4.9 – 3d-модель испытуемого спортсмена с облаком измерений в рабочем окне программы Fusion 360

Полученные антропометрические данные испытуемого приведены ниже, в Таблице 4.3. Разработка разверток ВФКО проведена с использованием дополнительных размерных признаков, учитывающих антропоморфологические особенности строения тела спортсмена. В качестве антропометрической информации для проектирования опытных образцов приняты: основные и дополнительные РП в статическом положении испытуемых, РП для задания антропоморфологических уровней компрессионного давления (Табл. 4.3).

Таблица 4.3 – Антропометрическая информация испытуемых спортсменов

№	Наименование РП	Значение РП	Относит. погрешн. измерения
Дополнительные РП для построения основы поясной и плечевой одежды			
1	Обхват бедра второй	67.2	3.2
2	Обхват бедра третий	44.5	4.1
3	Обхват бицепса	46.8	2.9
4	Обхват трицепса	45.6	2.8
5	Обхват предплечья	38.5	3.0
6	Высота плеча косая вторая	53.2	10.2
7	Расстояние от линии талии сзади до точки основания трапецевидной мышцы спереди	48.9	12.4
8	Высота медиальной точки	58.3	2.7
9	Высота бедренной точки	86.9	5.5
10	Расстояние от плечевой точки до двуглавой точки	23.6	4.9
11	Расстояние от плечевой точки до трехглавой точки	24.8	5.2
12	Расстояние от точки основания шеи до точки предплечья	58.3	7.5
13	Расстояние от дельтовидно-ключичной точки до заднего угла подмышечной впадины спереди	15.8	2.1
Размерные признаки для построения втачного рукава			
1	Длина дельты	13.2	5.6
2	Обхват дельтовидный	24.5	3.0
3	Длина плеча спереди	11.2	4.2
4	Длина плеча сзади	10.8	3.6
5	Вертикальный диаметр руки	16.5	11.3
6	Обхват плеча первый	49.6	9.7
7	Обхват плеча	45.0	6.2
Размерные признаки для построения основы поясной и плечевой одежды			
1	Обхват талии От	89	5 – 7
2	Обхват бедер Об	110	
3	Обхват икры Oi	44	
4	Высота сидения Вс	28.8	5 – 7
5	Длина шага (длина ноги до подъягодичной складки – Дсб – Вс)	82.5	
6	Высота колена Вк	49.7	
7	Высота икры Ви (1/2 высоты колена)	22.4	
8	Длина талии спереди 1	48.5	
9	Длина спины до талии	46.4	
10	Высота груди 1	21.5	
11	Ширина груди	27	
12	Ширина спины	33.2	
13	Обхват груди	133	
14	Обхват груди 2	-	
15	Диаметр руки переднезадний	12.5	
16	Обхват шеи	42	
17	Длина плеча	15.8	

Развертки поясного и плечевого изделия, учитывающие антропоморфологические особенности строения тела спортсмена, показаны ниже (Рис. 4.10, а, в). Зонально-контурное распределение АП разработано на основе схем МФЦ (упражнения 4 и 11).

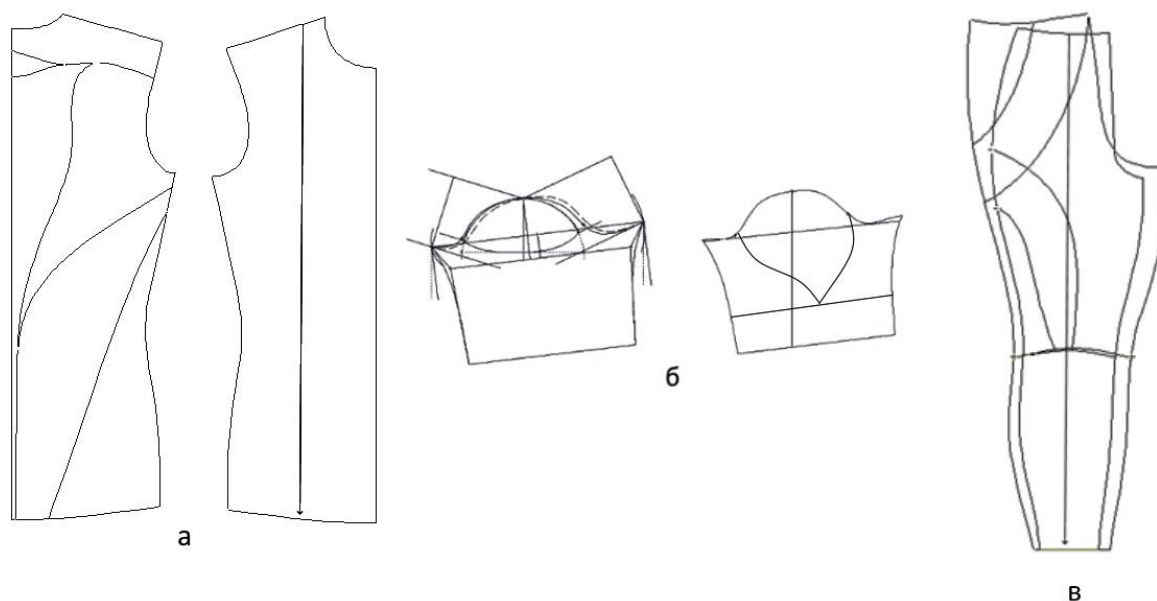


Рисунок 4.10 – Развертка ВФКО: плечевого (а, б) и поясного (в) изделий

Параметры АСП заданы постоянными для всех образцов и приведены в Таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Параметры АСП для проектирования опытных образцов ВФКО

№ п/п	Параметр АСП	Значение параметра АСП
1	Структура АСП	2 ряда
2	Вид паттерна	Прямая линия
3	Толщина паттерна	3 мм
4	Наличие силиконо-содержащей подложки	Есть
5	Ширина АСП	11 мм

В число решаемых задач при разработке высокофункционального КИ входило обоснование выбора силиконосодержащего полимера и режимов образования пленочного покрытия на трикотажной подложке. В результате ряда разведывательных экспериментов подобраны вещества и режимы получения трикотажно-полимерных пленочных материалов переносным способом (Рис. 4.11):

- нанесение на поверхность подложки композиции на основе силикона (органополисилоксановый полимер, алкоксигруппы или гидроксильные группы, сшитый кремний-органический материал, катализатор); без сушки; предварительное растяжение трикотажного полотна для проникновения композиции в структуру полотна.

- нанесение на подложку «трикотаж+композиция» полос из силиконосодержащей композиции толщиной 2 мм с расстоянием между полосами 3-4 мм; сушка при 25-27 С в течении 90 мин.



Рисунок 4.11 – Нанесение адгезионной пленки на компрессионное трикотажное полотно

Расчет величин прикладываемого компрессионного давления произведен в соответствии с ранее приведенными в работе учеными – физиологами рекомендациями, но при этом с учетом кривизны поверхности в проектируемых зонах (см. Гл. 3, Рис. 2.2 и Табл. 2.3).

Для оценки антропометрического соответствия разработанных опытных образцов фигуре спортсмена проведена виртуальная примерка в программе Clo 3D. Развертки опытных образцов изделий ВФКО экспортированы в Clo 3D в формате DXF/AAMA. Антропометрическая информация аватара скорректирована с учетом необходимости соответствия РП, использованным при 2D проектировании разверток в САПР Grafis v.11.

Оценка антропометрического соответствия разработанных изделий происходила в 3 этапа:

- визуальная оценка полученной 3D модели изделия на аватаре человека на предмет антропометрического соответствия габаритных параметров, наличия конструктивных дефектов одежды, соответствия размещения конструктивных линий техническому эскизу изделия;
- оценка соответствия заданных уровней компрессионного давления;
- оценка соответствия заданных величин заужения трикотажного полотна на определенных антропометрических уровнях.

На Рисунке 4.12 представлен образец полученных 3D моделей: карта напряжение-деформация представлена в виде цветового градиента относительных деформаций (растяжения, %) трикотажного полотна, при этом напряжения заданы в виде уровней давления в исходной 2D развертке.

Согласно представленным данным, уровень соответствия исходным параметрам определен как «удовлетворительный». Снижение уровня соответствия исходным

требованиям происходит за счет переменной кривизны тела спортсмена, поэтому в дальнейшем является целесообразным использование способов проектирования компрессионных оболочек со свойствами гибридной эластичности (см. Глава 2) для обеспечения однородности распределения давления.

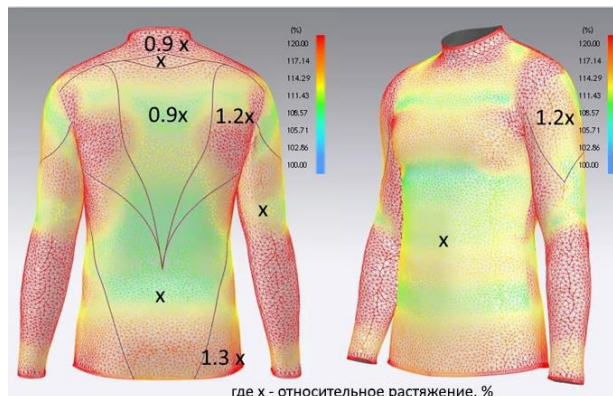


Рисунок 4.12 – Карта напряжение – деформация для опытного образца ВФК рашгарда

4.2.2 Оценка эффективности опытных образцов ВФ КОСН

Упражнения выполнены при эксплуатации образца ВФКО и образца КО. Образец КО без нанесенных АСП изготовлен с использованием разверток, указанных на Рисунке 4.10. Испытуемыми выполнено по 2 подхода (по 5 повторений) для каждого упражнения с ВФКО и без ВФКО. В результате выполненных упражнений «Приседания» и «Становая тяга» (Рис. 4.13), получены серии МЭС.

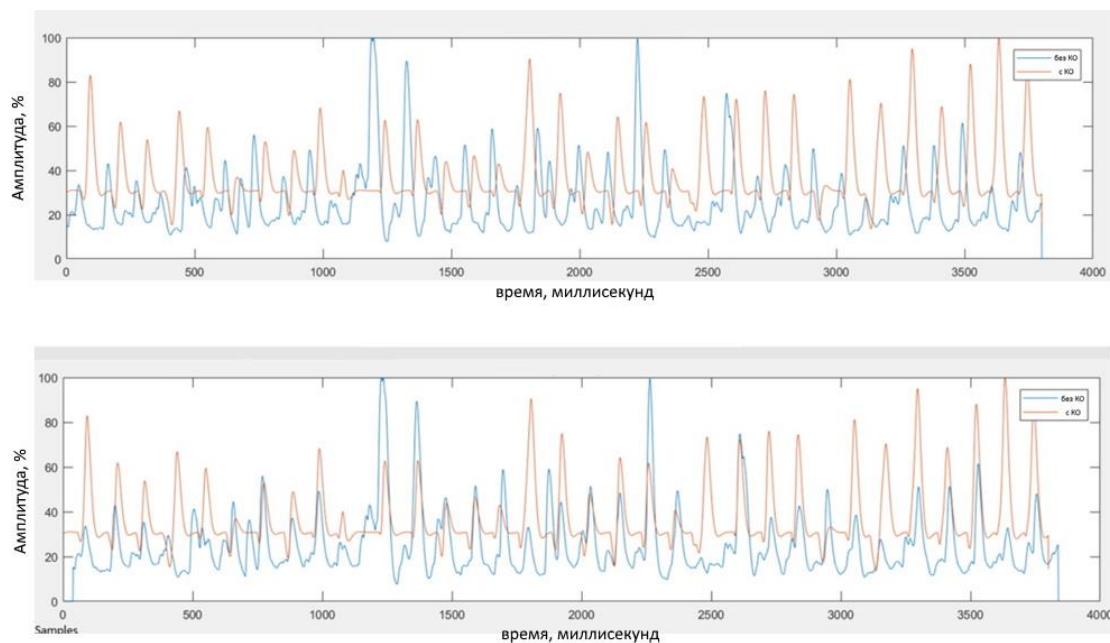


Рисунок 4.13 – Пример измерения МЭС в процессе эксплуатации спортсменом ВФКО (на примере упражнений приседания и становая тяга)

Пример графиков изменения электромиографических параметров под воздействием эксплуатации высокофункционального КИ в процессе анаэробной силовой нагрузки в зависимости от времени представлены на Рисунке 4.14. Выходной сигнал МЭС является уже обработанным с применением фильтра Баттерворта.

Таблица 4.5 – Параметры испытуемых лиц

№ п/п	Параметр	Пол	Рост	Обхват груди	Обхват тали	Обхват бедер	Индекс Пинье
2	Испытуемый 1	Мужской	184	133	89	110	-16.30
3	Испытуемый 2	Женский	164	96	78	98	5.02

**Рисунок 4.14 – Выходной сигнал МЭС, полученный в результате выполнения спортсменом аэробной нагрузки в условиях эксплуатации ВФКО и без**

В результате анализа влияния параметров на нейрофизиологические характеристики, можно сделать следующие выводы о влиянии высокофункционального КИ на организм спортсмена в процессе эксплуатации:

- сигнал, полученный при эксплуатации высокофункционального КИ, характеризуется увеличенной амплитудой, что может свидетельствовать о группировке мышечных волокон (реинервация, регенерация) или гипертрофии мышечных волокон;
- увеличенная длительность сигнала может свидетельствовать об увеличении количества мышечных волокон;
- повышенная стабильность сигнала в сравнении с сигналом, полученным в процессе тренировки спортсмена без КИ, говорит о снижении осцилляции мышц.

Таким образом, по итогам проведенной апробации разработанного метода, установлено наличие целостной и последовательной структуры процесса проектирования ВФКО СН, позволяющей получить изделия с соответствием параметров, заданных при проектировании и обладающих новым функциональным назначением.

Выводы по 4 главе:

1. По итогам проведенного вычислительного эксперимента в системе «гетерогенное КИ-тело человека» сделаны выводы о достижении однородности КД в пределах погрешности.
2. Выполнена апробация полученных в диссертационной работе результатов на основе применения блока биомеханической, антропоморфологической и антроподинамической информации, конструкторско-технологического блока информации.
3. Выполнено построение конструкций опытных образцов изделий с применением разработанного способа конструирования разверток плотно облегающей одежды на основе учета антропоморфологических особенностей тела спортсмена и работы мышечной системы.
4. По итогам проведенной оценки посадки в виртуальной среде, установлен удовлетворительный уровень соответствия конструкции изделия заданным требованиям.
5. Выполнена промышленная апробация разработанного способа проектирования гетерогенных компрессионных оболочек и изготовление опытных образцов компрессионных изделий с зонами гибридной эластичности.
6. 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.

Рекомендации и дальнейшие перспективы исследования:

1. Разработка интерактивного программного инструмента, отображающего усредненный ПДМЕ и набор извлеченных разрядов в растровом и наложенном режимах для обработки и анализа данных, полученных посредством ручных измерений.
2. Проведение исследования зависимостей состава силиконосодержащих композиций на адгезионные свойства разрабатываемых текстильных композитов «трикотаж+композиция».
3. Проведение исследования влияния адгезионных свойств текстильных композитов «трикотаж+композиция» на параметры ПДМЕ в статических и динамических условиях состояния спортсмена.
4. Проведение исследования эффективности компрессионной одежды для защиты от ударных нагрузок.
5. Разработка скрипта с заложенным способом проектирования разверток одношовного втачного рукава для САПР, например, Grafis, используя среду программирования разработчика.
6. Проведение исследования взаимосвязи субъективных и объективных показателей оценки эффективности компрессионной одежды, в т.ч. повышения мышечной активности.
7. Исследование возможностей адаптации способа конструирования развертки одношовного втачного рукава не только для целей проектирования плотно облегающих и компрессионных изделий, в т.ч. спортивного назначения, но и использование при проектировании изделий повседневного назначения в зависимости от вида и силуэта одежды.
8. Проведение антроподинамических исследований в виртуальной среде в широком спектре динамических поз и оценка уровня достоверности использования инструментов виртуальной примерки при проведении данного рода исследований.
9. Разработка базы виртуальных аватаров на основе модифицированных трехмерных сканов, антропоморфологическое строение которых адаптировано под конкретные динамические позы.

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.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

- p – разность давлений действующего изнутри оболочки и действующего на оболочку снаружи
- σ – поверхностное натяжение
- R_1 – радиус кривизны в меридиональной плоскости
- R_2 – радиус кривизны в плоскости, перпендикулярной меридиану
- R - коэффициент заужения
- EI - модуль упругости
- CF - коэффициент сжатия
- C – обхват поперечного сечения человеческого тела
- F - натяжение ткани
- W - ширина ткани
- G - обхват поперечного сечения тела
- A_0 - площадь поперечного сечения ткани
- КД – компрессионное давление
- E_{bt} – энергия сжатия компрессионным изделием поверхности тела спортсмена
- t_0 – поперечный диаметр сегмента тела спортсмена без компрессионного изделия
- t – поперечный диаметр сегмента тела спортсмена после надевания компрессионного изделия
- E_{kf} – энергия растяжения высокоэластичного трикотажного полотна
- ВТП – высокоэластичное трикотажное полотно
- ε_0 – теоретическое удлинение при растяжении полотна
- ε – эмпирическое удлинение при растяжении полотна
- r – величина заужения полотна
- Δt – поперечная деформация тела человека
- $\bar{W}$ – функция плотности энергии деформации
- $\bar{I}_1$ – определитель градиента деформации
- $D_1 = \frac{\lambda}{2}$ – коэффициент сжимаемости (или объемный модуль)
- λ – первый параметр Ламе
- c_{10} - коэффициент упругости, пропорциональный второму параметру Ламе
- μ – модуль сдвига (второй параметр Ламе)
- ПК – поправочный коэффициент
- L_m - длина мышц

L_f - длина волокон

Θ - угол наклона

PCSA - физиологическая площадь поперечного сечения

F_{mf} – сила мышечных волокон

F_t – сухожильная сила

$\cos\theta$ – угол наклона мышечных волокон

A_{pk-pk} - разница между максимальным положительным и максимальным отрицательным значениями амплитуды сигнала

Trising - длительность возрастания

A_{pk-pk} - разница между максимальным положительным и максимальным отрицательным значениями амплитуды сигнала

S - соотношение площадей под кривыми: кривой с максимальным положительным и кривой с максимальным отрицательным значениями амплитуды

A_{max} - максимальное значение функции полученного сигнала

A_g - моделируется гауссовским случайным процессом с амплитудной модуляцией, который связан с постоянной силой и неустойчивым сокращением

$D_{эф}$ – динамический эффект

БК – базовая конструкция

$P_{МБК}$ – значение конструктивного параметра модифицированной БК

$P_{ИБК}$ – значение конструктивного параметра модифицированной БК

динамического эффекта

Об – обхват бедра

От – обхват талии

От4 – обхват груди четвертый

От2 – обхват груди второй

ПУПВ – передний угол подмышечной впадины

ЗУПВ - задний угол подмышечной впадины

Оп – обхват плеча

ТОП – наивысшая точка подмышечной впадины со стороны торса

ТОО – наивысшая точка подмышечной впадины

Олок – обхват руки на уровне локтя

Озап – обхват руки на уровне запястья

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Davies V., Thompson K.G., Cooper S.M. The effects of compression garments on recovery// *Journal of Strength and Conditioning Research*. - 2009, Vol.23, Is.6. P.1786–1794.
2. McRae B.A., Cotter J.D., Laing R.M. Compression Garments and Exercise: Garment Considerations, Physiology and Performance// *Sports Medicine*. - 2011, Vol.41, No.10.- P.815-843.
3. Driller M.W., Halson S.L. The Effects of Wearing Lower Body Compression Garments During a Cycling Performance Test// *International Journal of Sports Physiology and Performance*. - 2013, Vol.8, Is.3.- P.300-306.
4. Michael J.S., Dogramaci S.N., Steel K.A., Graham K.S. What is the effect of compression garments on a balance task in female athletes?// *Gait Posture*. - 2014, Vol.39, Is.2. - P.804-809.
5. Duffield R., Cannon J., King M. The effects of compression garments on recovery of muscle performance following high-intensity sprint and plyometric exercise// *Journal of Sports Science & Medicine*. - 2010, Vol.13, Is.1.- P.136-140.
6. Hamlin M.J., Mitchell C.J., Ward F.D., Draper N., Shearman J.P., Kimber N.E. Effect of compression garments on short-term recovery of repeated sprint and 3-km running performance in rugby union players// *Journal of Strength and Conditioning Research*. - 2012, Vol.26, Is.11. P.2975-2982.
7. Urso M. Is Compression Gear Really Effective?, available at: <https://www.active.com/running/articles/is-compression-gear-really-effective> (accessed 22 January 2018).
8. Jakeman J.R., Byrne C., Eston R.G. Lower limb compression garment improves recovery from exercise-induced muscle damage in young, active females// *European Journal of Applied Physiology*. - 2010, Vol.109, Is.6.- P.1137-1144.
9. Vercruyssen F., Gruet M., Colson S.S., Ehrstrom S., Brisswalter J. Compression Garments, Muscle Contractile Function, and Economy in Trail Runners// *International Journal of Sports Physiology and Performance*. - 2017, Vol.12, Is.1.- P.62-68.
10. Doan B.K., Kwon Y., Newton R.U., Shim J., Popper E.M., Rogers R.A., Bolt L.R., Robertson M., Kraemer W.J. Evaluation of a lower-body compression garment// *Journal of Sports Sciences*. - 2003, Vol.21, No.8.- P.601-610.
11. “Squat to box jump”, available at: <http://www.tuvayanon.net/Quadexercise6-03-index.html> (accessed 22 January 2018).
12. Иванова З.Р. Разработка метода проектирования компрессионных изделий: дис. ... канд. техн. наук: 05.19.04/ РЗИТЛП. - М.,1998. – 262 с.
13. Kraemer W.J., Flanagan S.D., Comstock B.A., et al. Effects of a whole body compression garment on markers of recovery after a heavy resistance workout in men and women// *Journal of Strength and Conditioning Research*. - 2010, Vol.24, No.3. - P.804-814.

14. Born D.-P., Sperlich B., Holmberg H.-C. Bringing Light into the Dark: Effects of Compression Clothing on Performance and Recovery// *International Journal of Sports Physiology and Performance*.- 2013, Vol.8, Is.1.- P.4-18.
15. Marqués-Jiménez D., Calleja-González J., Arratibel-Imaz I., Delextrat A., Uriarte F., Terrados N. Influence of different types of compression garments on exercise-induced muscle damage markers after a soccer match// *Research in Sports Medicine*. - 2018, Vol.26, Is.1. - P.27-
16. Troynikov O., Ashayeria E., Burton M., SubicA., F.Alamb F., Marteauc S. Factors influencing the effectiveness of compression garments used in sports// *Procedia Engineering*.- 2010, Vol.2, Is.2.- P.2823-2829.
17. Kim J., Kim J., Lee J. Effect of compression garments on delayed-onset muscle soreness and blood inflammatory markers after eccentric exercise: a randomized controlled trial// *Journal of Exercise Rehabilitation*. - 2017, Vol.13, Is.5 - P.541-545.
18. Hill J., Howatson G., Van Someren K., Gaze D., Legg H., Lineham J., Pedlar C. The Effects of Compression-Garment Pressure on Recovery After Strenuous Exercise// *International Journal of Sports Physiology and Performance*.- 2017, Vol.12, Is.8.- P.1078-1084.
19. Tiidus P. *Skeletal Muscle Damage and Repair: Mechanisms & Interventions*. - Champaign, IL: Human Kinetics, 2008. - 352 p.
20. Chu D.A. *Jumping into Plyometrics*. - Champaign, IL: Human Kinetics Publishers, 1998. - 176 c.
21. Xiong Y., Tao X. Compression Garments for Medical Therapy and Sports. *Polymers (Basel)*. 2018 Jun; 10(6): 663. Published online 2018 Jun 14. doi: 10.3390/polym10060663
22. Sperlich, B., Haegeler, M., Achtzehn, S., Linville, J., Holmberg, H.-C., & Mester, J. (2010). Different types of compression clothing do not increase sub-maximal and maximal endurance performance in well-trained athletes. *Journal of sports sciences*, 28(6), 609-614. <https://doi.org/10.1080/02640410903582768>
23. Beliard S. Compression garments and exercise: no influence of pressure applied/ S. Beliard, M. Chauveau, T. Moscatiello, F. Cros, F. Ecarnot, F. Becker// *Journal of Sports Science & Medicine*. - 2015, Vol.14, Is.1.- P.75-83.
24. Маринкина М.А. К вопросу учета стабильности нагрузки, оказываемой компрессионными изделиями в процессе эксплуатации / М.А. Маринкина, Л.Л. Чагина, С.Е. Проталинский, М.С. Богатырева// *Известия вузов. Технология текстильной промышленности*. - 2015, №5 (359). - С.118-123.
25. Ali A, Creasy RH, Edge JA. The effect of graduated compression stockings on running performance. *J Strength Cond Res*. 2011;25(5):1385–1392. PubMed ID: 21293307 doi:10.1519/JSC.0b013e3181d6848e

26. Kraemer WJ, Bush JA, Newton RU, et al . Influence of a compression garment on repetitive power output production before and after different types of muscle fatigue. *Sport Med Train Rehabil.* 1998;8(2):163–184. doi:10.1080/15438629809512525
27. Ping W, Lei L, Mao-de YJ, Feng R. Effects of compression garments on lower limb muscle activation via electromyography analysis during running. *J Donghua University.* 2015;32(1):48–52.
28. Broatch JR, Bishop DJ, Halson S. Lower limb sports compression garments improve muscle blood flow and exercise performance during repeated-sprint cycling. *Int J Sports Physiol Perform.* 2018;13(7):882–890. PubMed ID: 29252067 doi:10.1123/ijsp.2017-0638
29. Berjeaut RH, Nahas FX, Dos Santos LKIL, Filho JDP, Ferreira LM. Does the use of compression garments increase venous stasis in the common femoral vein? *Plast Reconstr Surg.* 2015;135(1):85e–91e. PubMed ID: 25539354 doi:10.1097/PRS.0000000000000770
30. Kim JY, Willard JJ, Supp DM, et al . Burn scar biomechanics after pressure garment therapy. *Plast Reconstr Surg.* 2015;136(3):572–581. PubMed ID: 25989300 doi:10.1097/PRS.0000000000001507
31. Eston R, Byrne C, Twist C. Muscle function after exercise-induced muscle damage: considerations for athletic performance in children and adults. *J Exerc Sci Fit.* 2003;1(2):85–96.
32. Sear JA, Hoare TK, Scanlan AT, Abt GA, Dascombe BJ. The effects of whole-body compression garments on prolonged high-intensity intermittent exercise. *J Strength Cond Res.* 2010;24(7):1901–1910. PubMed ID: 20555284 doi:10.1519/JSC.0b013e3181db251b
33. Bochmann RP, Seibel W, Haase E, Hietschold V, Rödel H, Deussen A. External compression increases forearm perfusion. *J Appl Physiol.* 2005;99(6):2337–2344. PubMed ID: 16081618 doi:10.1152/japplphysiol.00965.2004
34. Engel FA, Holmberg H-C, Sperlich B. Is there evidence that runners can benefit from wearing compression clothing? *Sports Med.* 2016;46(12):1939–1952. PubMed ID: 27106555 doi:10.1007/s40279-016-0546-5
35. Venckunas T, Trinkunas E, Kamandulis S, Poderys J, Grunovas A, Brazaitis M. Effect of lower body compression garments on hemodynamics in response to running session. *Sci World J.* 2014;2014: Article 353040. doi:10.1155/2014/353040
36. Born D-P, Holmberg H-C, Goernert F, Sperlich B. A novel compression garment with adhesive silicone stripes improves repeated sprint performance—a multi-experimental approach on the underlying mechanisms. *BMC Sports Sci Med Rehabil.* 2014; 6:21. doi:10.1186/2052-1847-6-21
37. Engel F, Stockinger C, Woll A, Sperlich B. Effects of compression garments on performance and recovery in endurance athletes. In: Engel F, Sperlich B, eds. *Compression Garments in Sports: Athletic Performance and Recovery.* Switzerland: Springer International Publishing; 2016:33–61. doi:10.1007/978-3-319-39480-0_2

38. Hill J, Howatson G, van Someren K, Leeder J, Pedlar C. Compression garments and recovery from exercise-induced muscle damage: a meta-analysis. *Br J Sports Med.* 2014;48(18):1340–1346. PubMed ID: 23757486 doi:10.1136/bjsports-2013-092456
39. Brown F, Gissane C, Howatson G, van Someren K, Pedlar C, Hill J. Compression garments and recovery from exercise: a meta-analysis. *Sports Med.* 2017;47(11):2245–2267. doi:10.1007/s40279-017-0728-9
40. Андреева Е.Г. Основы проектирования одежды из эластичных материалов. - М.: МГУДТ, 2004. - 134 с.
41. Кузьмичев В.Е., Чен Ч., Го М., Тисленко И.В. Экспериментальное обоснование прогнозирования компрессионного давления под трикотажной плотнооблегающей одеждой// Известия вузов. Технология текстильной промышленности. - 2016, №4 (364). - С.91-96.
42. Старкова Г.П. Методологические основы проектирования спортивной одежды из высокоэластичных материалов: диссертация ... доктора технических наук : 05.19.04/ - Владивосток, 2004. - 308 с. : ил. + Прил. (53 с.: ил.).
43. Назаревич М.С. Проектирование женских трикотажных изделий с прогнозированием уровня компрессионного воздействия: дис. ... канд. техн. наук: 05.19.04/ СПбГУПТИД, Санкт-Петербург, 2019. - 262 с.
44. Дубоносова Е.А., Шершнева Л.П. Структура современного ассортимента компрессионных изделий // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. 2013. Т. 20. № 2. С. 51-54.
45. Dubonosova E., Shershneva L. Develop method for assessing the degree of compression products for different purposes //Швейная промышленность. 2011. № 5. С. 30-33.
46. Дубоносова Е.А., Шершнева Л.П. Проблемы проектирования компрессионных изделий медицинского назначения //Швейная промышленность. 2011. № 4. С. 42-44.
47. Надежная Н.Л., Чарковский А.В. Метод расчета давления компрессионного трикотажного изделия// Вестник Витебского государственного технологического университета. -2012, № 1 (22).- С.72-82.
48. Тисленко И.В. Разработка метода проектирования компрессионной трикотажной одежды: дисс.. канд. техн. наук: 05.19.04: защита 01.03.2018. -Иваново, 2018. -204 с.
49. P Pérez-Soriano, Á García-Roig, R Sanchis-Sanchis, I Aparicio Influence of compression sportswear on recovery and performance: A systematic review// *Journal of Industrial Textiles* <https://doi.org/10.1177/1528083718764912>
50. Кузьмичев В.Е., Чен Ч., Го М., Тисленко И.В. Экспериментальное обоснование прогнозирования компрессионного давления под трикотажной плотнооблегающей одеждой // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2016. № 4 (364). С. 91-96.

51. Cheng Z., Kuzmichev V.E., Adolphe D.C. Development of knitted materials selection for compression underwear // *Autex Research Journal*. 2017. T. 17. № 2. С. 177-187.
52. Troynikov, O.; Ashayeri, E. 3D body scanning method for close-fitting garments in sport and medical applications. In *Proceedings of the 47th Annual Conference of Human Factors and Ergonomics Society of Australia (HFESA)*, Crows Nest, Australia, 7–9 November 2011; pp. 11–16.
53. Tyurin I.N., Getmantseva V.V., Andreeva E.G. Application of QFD method for determining performance properties of tight-fitting and compression sportswear//В сборнике: *AUTEX 2018 conference proceedings*. 2018. С. 1041-1044.
54. Tyurin I.N., Getmantseva V.V., Andreeva E.G., Belgorodskiy V.S. Research of design features of compression sportswear. In *Proc. AUTEX 2018 conference proceedings*. 2018. P. 1019-1022.
55. Андреева Е. Г. Методологические основы проектирования одежды из эла-стичных полотен. : дис. на соиск. учен. степ. док. техн. наук: 05.19.04: защищена 25.06.1997/Андреева, Елена Георгиевна. -Москва, 1997. -470 с. -Библиогр.: с. 302-315.
56. Lawrence D, Kakkar VV. Graduated, static, external compression of the lower limb: a physiological assessment. // *Br J Surg*. 1980 Feb;67(2):119-21.57.
57. James Tarrier, Andy Harland, Roy Jones, Tim Lucas, Dan Price Applying finite element analysis to compression garment development, // *Procedia Engineering*, Volume 2, Issue 2, 2010, Pages 3349-3354. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2010.04.156>.
58. Ng SF, Hui CL. Pressure Model of Elastic Fabric for Producing Pressure Garments. *Textile Research J*. 2001;71(3):275–279.
59. Macintyre L, Baird M, Weedall P. The study of pressure delivery for hypertrophic scar treatment. *International J Clothing Science & Technology*. 2004;16(1/2):173–183.
60. Maklewska E, Nawrocki A, Ledwoń J, et al. Modelling and Designing of Knitted Products Used in Compressive Therapy. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2006;14(5):111–113.
61. Partsch, H.; Clark, M.; Bassez, S.; Benigni, J.P.; Becker, F.; Blazek, V.; Caprini, J.; Cornu-Thenard, A.; Hafner, J.; Flour, M. Measurement of lower leg compression in vivo: Recommendations for the performance of measurements of interface pressure and stiffness. *Dermatol. Surg*. 2006, 32, 224–233.
62. Watanuki, S. Effects of wearing compression stockings on cardiovascular responses / S. Watanuki, H. Murata // *The annals of physiological anthropology*, 1994, 13(3), pp. 121-127.
63. Liu R, Kwok YL, Li Y, Lao TT, Zhang X, Dai XQ. Objective evaluation of skin pressure distribution of graduated elastic compression stockings // *Dermatol Surg*. 2005 June;31(6):615-24.
64. Maklewska E, Nawrocki A, Kowalski K, et al. New measuring device for estimating the pressure under compression garments. *Int J Cloth Sci Technol* 2007; 19(3/4): 215–221

65. Crutzen, Brian & Domen, Julian. (2019). Comparing existing test methods used for measuring pressure in hosiery and pressure garments, to define and develop a test method suitable for comparing the functioning of a new kind of therapeutic stocking with the existing standard.
66. Ellis, Brett & Kirkpatrick, Erin & Phan, Sonal & Imler, Stacy & Beckham, Haskell. (2018). Measuring compression caused by garments. *International Journal of Clothing Science and Technology*. 30. 10.1108/IJCST-01-2017-0008.
67. Interlink Electronics Inc. FSR 400 Series Data Sheet. Available online: https://www.interlinkelectronics.com/datasheets/Datasheet_FSR.pdf
68. <https://cdn-learn.adafruit.com/downloads/pdf/force-sensitive-resistor-fsr.pdf>
69. Khodasevych I et al Flexible Sensors for Pressure Therapy: Effect of Substrate Curvature and Stiffness on Sensor Performance. *Sensors (Basel)*. 2017 Oct 20;17(10):2399.
70. Compression Garments Market: Global Industry Analysis and Opportunity Assessment 2016-2026 <https://www.futuremarketinsights.com>
71. Гетманцева В.В. (2021). Научные основы интеллектуализации виртуального проектирования конструкции и технологии одежды: дис. ... д-ра техн. наук: 05.19.04/ Москва, РГУ им. Косыгина, 2021. -476с.
72. Hertleer, C.; Rogier, H.; Vallozzi, L.; Van Langenhove, L., “A Textile Antenna for Off-Body Communication Integrated Into Protective Clothing for Firefighters”, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Volume 57, Issue 4, Part 1, April 2009, pp. 919 – 925.
73. S. Park and S. Jayaraman, “Smart textiles: wearable electronic systems,” *MRS Bull.*, vol. 28, no. 8, pp. 585-591, August 2003.
74. J. B. Lee and V. Subramanian, “Organic transistors on fiber: a first step toward electronic textiles,” in *IEDM Tech. Dig.* Washington, DC, Dec. 7–10, 2003, pp. 199-202.
75. Гетманцева В. В., Гусева М. А., Андреева Е. Г., Смирнова Д. С., Крючкова А. А. Фуражка со снятием следов питания патент на полезную модель 194 487 RU, заявл. 27.09.2019, опубли. 12.12.2019, бюл. №35.
76. Cochrane, C., Meunier, L., Kelly, F. M. & Koncar, V. Flexible displays for smart clothing: Part I-Overview. *Indian J. Fibre Text. Res.* 36, 422 (2011).
77. Gupta, D. Design and engineering of functional clothing. *Indian J. Fibre Text. Res.* 36, 327 (2011).
78. Cherenack, K. & van Pieterse, L. Smart textiles: challenges and opportunities. *J. Appl. Phys.* 112, 091301 (2012).
79. O'Connor, B., An, K. H., Zhao, Y., Pipe, K. P. & Shtein, M. Fiber shaped light emitting device. *Advanced Materials* 19, 3897–3900 (2007).
80. Kwon, S. et al. High Luminance Fiber-Based Polymer Light-Emitting Devices by a Dip-Coating Method. *Advanced Electronic Materials* 1 (2015).

81. Hu J., Zhu Y., Huang H. & Lu J. (2012). Recent advances in shape-memory polymers: Structure, mechanism, functionality, modeling and applications. *Progress in Polymer Science*, 37, 1720-1763.
82. Ishizawa J., Imagawa K., Minami S., Hayashi S. & Miwa N. (2003). Research on application of shape memory polymers to space inflatable systems, *Proceeding of the 7th International Symposium on Artificial Intelligence Robotics and Automation*.
83. Белгородский В.С., Гетманцева В.В., Андреева Е.Г. Кинетический декор одежды Патент на полезную модель 206702 U1, 22.09.2021. Заявка № 2021107726 от 24.03.2021.
84. Stylios, G. K. & Taoyu W. (2007). Shape memory training for smart fabrics. *Transactions of the Institute of Measurement and Control*, 29, 321- 336.
85. Alay S., Alkan C., Göde F. Steady-state thermal comfort properties of fabrics incorporated with microencapsulated phase change materials// *The Journal of The Textile Institute*.- 2012, Vol.103, Is.7.- P.757-765.
86. Fengzhi L. Numerical simulation for effect of microcapsuled phase change material (MPCM) distribution on heat and moisture transfer in porous textiles// *Modern Physics Letters*.- 2009, Vol.23.- P.501-504.
87. Iqbal K. Experimental and numerical studies of thermoregulating textiles incorporated with phase change materials: Thesis of PhD.- Edinburgh, UK: Heriot-Watt University, School of Textiles and Design, 2016. - 178 p.
88. Mallow A.M. Stable paraffin composites for latent heat thermal storage systems// A Thesis MS. - Atlanta, US: Georgia Institute of Technology, 2015.- 120 p.
89. Nejman A., Cieślak M., Gajdzicki B., Goetzendorf-Grabowska B., Karaszewska A. Methods of PCM microcapsules application and the thermal properties of modified knitted fabric // *ThermochimicaActa*.- 2014, Vol.589. P.158-163.
90. Pervez M.N., Khan A., Khan I.A. Investigation on the thermo-regulating fabric by using phase change material for modern textile practical application// *American Journal of Polymer Science &Engineering*.- 2015, Vol.3, No.1.- P.1-10.
91. Potuck A., Meyers S., Levitt A., Beaudette E., Xiao H., Chu C.C. Development of thermochromic pigment based sportswear for detection of physical exhaustion// *Fashion Practice: The Journal of Design, Creative Process & the Fashion Industry*.- 2016, Vol.8, Is.2.- P.279-295.
92. Víková, M, Vík, M. The determination of absorbance and scattering coefficients for photochromic composition with the application of the black and white background method. *Textile Res J* 2015; 85: 1961–1971.
93. Souza J.M., Sampaio S., Silva W.C., de Lima S.G., Zille A., Figueiro R. Characterization of functional single jersey knitted fabrics using non-conventional yarns for sportswear//*Textile Research Journal*.- 2016, Dec.

94. Коблякова Е. Б., Ивлева Г. И., Романов В. Е. Конструирование одежды с элементами САПР: учеб. для вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Легпромбытиздат, 1988. – 464с.
95. PRNewswire, 2016. Smart Clothing and Body Sensors: Market Analysis and Forecasts. [Online] Available at: <http://www.prnewswire.com/news-releases/smart-clothing-and-body-sensorsmarket-analysis-and-forecasts-300267344.html>
96. Costa, C., 2013. Under Armour E39 Electronic Shirt Detects Heart Attacks In Athletes While In Play, Also Helps Them Improve Their Game. [Online] Available at: <http://www.gadgetreview.com/under-armour-e39-electronic-shirt-detects-heartattacks-in-athletes-while-in-play-also-helps-them-improve-their-game-video>
97. Henderson, R., 2016. Adidas Climacool NFC Smart Suits for racing drivers could reveal vital information in a crash. [Online] Available at: <http://www.pocket-lint.com/news/137437-adidas-climacool-nfc-smart-suits-for-racing-drivers-could-reveal-vital-information-in-a-crash>
98. Afroz, S. et al., 2016. Inkjet Printing of Graphene Inks for Wearable Electronic Applications. Manchester, 32nd International conference on digital printing technologies.
99. <https://www.indiegogo.com/projects/antelope-sportswear-muscle-activating-smartsuit>
100. <https://www.myontec.com/>
101. <https://www.industrie-techno.com/article/ces-2015-le-t-shirt-connecte-d-shirt-de-cityzen-sciences-mis-a-nu.35491>
102. <https://patents.google.com/patent/US20130326785A1/en>
103. <https://patents.google.com/patent/US20130326785A1/en>
104. <https://patents.google.com/patent/US20130326785A1/en>
105. Duvall, J., Granberry, R., Berglund, M., Dunne, L., Holschuh, B., Johnson, B., Joyner, M. "Smart Fabric", US Application No. 6243356. Filed 24 February, 2017.
106. Sanders K., Jeffrey B., Dorton A. Athletic arm warmer with compression sleeve US9295291B2, United States, 2016.
107. <https://alignmed.com/products/posture-shirt-for-men-pullover>
108. <https://www.errea.com/errea-3dwear/>
109. Корнилова Н.Л. Теоретические основы и методическое обеспечение процессов проектирования и изготовления функционально-эргономичных корсетных изделий: дис. ... д-ра техн. наук: 05.19.04/ ИГТА, Иваново, 2011.- 517 с.
110. Kuzmichev V.E., Tislenko I.V., Adolphe D.C. Virtual design of knitted compression garments based on bodyscanning technology and the three-dimensional-to-two-dimensional approach // Textile Research Journal. 2018.
111. Новикова, А.В. Совершенствование процессов проектирования плотнооблегающей одежды на основе исследования свойств высокоэластичных материалов: дисс. ... канд. техн. наук: 05.19.04. - Владивосток, 2009. – 177 с.

112. 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.
113. 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.
114. 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.
115. 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.
116. Тюрин И.Н., Гетманцева В.В. Анализ особенностей конструктивного решения спортивной одежды//Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности (Инновации-2016): сб. материалов междунар. науч.-техн. конф, 2016. С. 242-245.
117. 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.
118. Тюрин И.Н. Проектирование высокофункциональной одежды // В сборнике: Всероссийская научно-практическая конференция "ДИСК-2018" Сборник материалов. 2018. С. 85-87.
119. Тюрин И.Н. Методы оценки комфортности спортивной одежды // В сборнике: Всероссийская научно-практическая конференция "ДИСК-2018" Сборник материалов. 2018. С. 80-82.
120. 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.
121. 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.
122. 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) Сборник материалов Международной научно-технической конференции. 2018. С. 236-239
123. Liu, Rong, Xia Guo, Terence T Lao, and Trevor Little. "A Critical Review on Compression Textiles for Compression Therapy: Textile-Based Compression Interventions for Chronic Venous

- Insufficiency.” *Textile Research Journal* 87, no. 9 (June 2017): 1121–41. <https://doi.org/10.1177/0040517516646041>.
124. Doğan, Nurettin. (2018). Bland-Altman analysis: A paradigm to understand correlation and agreement. *Turkish Journal of Emergency Medicine*. 18. 10.1016/j.tjem.2018.09.001.
125. Van Loocke M, Lyons CG, Simms CK. A validated model of passive muscle in compression. *J Biomech*. 2006;39(16):2999-3009. doi: 10.1016/j.jbiomech.2005.10.016. Epub 2005 Nov 28. PMID: 16313914.
126. Breuls, R. G. M., Bosboom, E. M. H., Oomens, C. W. J., Bouten, C. V. C., & Janssen, J. D. (1997). A 3-D finite element model of the rat tibialis anterior muscle : a contribution to pressure sores research. In P. Pedersen, & M. P. Bendsøe (Eds.), *IUTAM Symposium on Synthesis in Bio Solid Mechanics : Proceedings of the IUTAM Symposium held in Copenhagen, Denmark, 24–27 May 1998* (pp. 151-162). (Solid Mechanics and its Applications; Vol. 69). Kluwer Academic Publishers. https://doi.org/10.1007/0-306-46939-1_14
127. Fung YC (1993) *Biomechanics: mechanical properties of living tissues*. Springer, New York.
128. Sun, Wei & Sacks, Michael. (2005). Finite element implementation of a generalized Fung-elastic constitutive model for planar tissues. *Biomechanics and modeling in mechanobiology*. 4. 190-9. 10.1007/s10237-005-0075-x.
129. Kagaya, Atsuko & Muraoka, Yoshiho. (2005). Muscle Architecture and its Relationship to Muscle Circulation. *International Journal of Sport and Health Science*. 3. 171-180. 10.5432/ijshs.3.171.
130. Choi, Seoyoung & Shin, Yong & Kim, Soo-Yeon & Kim, Jonghyun. (2018). A novel sensor-based assessment of lower limb spasticity in children with cerebral palsy. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*. 15. 10.1186/s12984-018-0388-5.
131. C Prakash et al. Passive Marker Based Optical System for Gait Kinematics for Lower Extremity. *Procedia Computer Science*. Volume 45. 2015. Pages 176-185.
132. Hogfors C, Sigholm G, Herberts P (1987) Biomechanical model of the human shoulder—I. Elements. *J Biomech* 20(2):157–166, Hogfors C, Peterson B, Sigholm G, Herberts P (1991) Biomechanical model of the human shoulder joint—II. The shoulder rhythm. *J Biomech* 24(8):699–709.
133. Hogfors C, Sigholm G, Herberts P (1987) Biomechanical model of the human shoulder—I. Elements. *J Biomech* 20(2):157–166.
134. Hogfors C, Peterson B, Sigholm G, Herberts P (1991) Biomechanical model of the human shoulder joint—II. The shoulder rhythm. *J Biomech* 24(8):699–709.
135. Van der Helm FCT (1994) A finite element musculoskeletal model of the shoulder mechanism. *J Biomech* 27(5):551–569.
136. Nikooyan AA, Veeger HE, Chadwick EK, Praagman M, Helm FC (2011) Development of a comprehensive musculoskeletal model of the shoulder and elbow. *Med Biol Eng Comput*

- 49(12):1425–1435, Van der Helm FCT (1994) A finite element musculoskeletal model of the shoulder mechanism. *J Biomech* 27(5):551–569.
137. Charlton IW, Johnson GR (2006) A model for the prediction of the forces at the glenohumeral joint. *Proc Inst Mech Eng H J Eng Med* 220(8):801–812.
138. Holzbaur KRS, Murray WM, Delp SL (2005) A model of the upper extremity for simulating musculoskeletal surgery and analyzing neuromuscular control. *Ann Biomed Eng* 33(6): 829–840.
139. Damsgaard M, Rasmussen J, Christensen ST, Surma E, de Zee M (2006) Analysis of musculoskeletal systems in the anybody modeling system. *Simul Model Pract Theory* 14(8):1100–1111.
140. Garner BA, Pandy MG (2001) Musculoskeletal model of the upper limb based on the visible human male dataset. *Comput Methods Biomech Biomed Eng* 4(2):93–126.
141. Dickerson CR, Chaffin DB, Hughes RE (2007) A mathematical musculoskeletal shoulder model for proactive ergonomic analysis. *Comput Methods Biomech Biomed Eng* 10(6):389–400.
142. Parsa, Behnoosh & Ehsani, Hossein & Rostami, Mostafa. (2013). Analyzing synergistic and antagonistic muscle behavior during elbow planar flexion-extension: Entropy-assisted vs. shift-parameter criterion. 2013 20th Iranian Conference on Biomedical Engineering, ICBME 2013. 65-70. 10.1109/ICBME.2013.6782194.
143. M., Muhammed. (2017). Surface Electromyography Signal Collecting Strategy for Artificial Hand Controlling Purposes. *EJERS, European Journal of Engineering Research and Science*. Vol. 2,. 1. 10.24018/ejers.2017.2.10.467.
144. Ghosh, Jayanta. (2019). Electromyography (EMG) signal acquisition and processing by using surface electrodes. 10.13140/RG.2.2.26222.46408.
145. Rodríguez-Carreño I., Gila-Useros L., Malanda-Trigueros A. (2012) Motor Unit Action Potential Duration: Measurement and Significance. *Advances in Clinical Neurophysiology*.
146. Zschorlich, Volker. (1989). Digital filtering of EMG-signals. *Electromyography and clinical neurophysiology*. 29. 81-86.
147. Federative Committee on Anatomical Terminology. 1998. *Terminologia anatomica: international anatomical terminology*. Stuttgart: Thieme.
148. Конструктивное моделирование одежды: Учебное пособие для вузов/ А. И. Мартынова, Е. Г. Андреева. - М.: Московская государственная академия легкой промышленности, 2002. - 216 с.
149. Основы конструирования одежды: учебник/ Коблякова Е.Б., Савостицкий А.В., Ивлева Г.С. и др. - М.: Легкая индустрия, 1980. - 448 с.
150. Единая методика конструирования одежды СЭВ (ЕМКО СЭВ). Теоретические. Т1. - М.: ЦНИИТЭИ Легпром, 1988. - 164 с.

151. Единый метод конструирования верхних женских трикотажных изделий, изготавливаемых по индивидуальным заказам. - М.: ЦБНТИ, 1979. - 65 с.
152. Т.А. Рослякова. Школа шитья. Ростов н/Д.: Феникс, 2000. — 445 с. — ISBN 5-222-01074-0.
153. У. Алдрич. Английский метод конструирования и моделирования. Женская одежда. / У.Алдрич. - М.: Издательский дом "ЭДИПРЕСС - КОНЛИГА", 2007. - 208с.
154. Булатова, Е. Б., Евсеева, М. Н. Конструктивное моделирование одежды. - 2-е изд., стер. - М.: Издательский центр «Академия», 2004. - 272 с.
155. М. Штиглер. Платья и блузки. Конструирование-М.: Издательство Эдипресс-конлига -2014. -С.256.
156. ОСТ 17-325-86. Изделия швейные, трикотажные, меховые. Типовые фигуры мужчин. Размерные признаки для проектирования одежды. - Взамен ОСТ 17325-81; Введ. 01.07.87 до 01.07.92. - 82 с. - Группа МО2.
157. Бахтина Е. Ю., Сурженко Е. Я. Эргономические исследования и совершенствование конструкций специальной одежды для женщин// Технология текстильной промышленности. -2000. -№ 3 (255). -С. 87-89.
158. Сурженко Е. Я. Теоретические основы и методическое обеспечение эргономического проектирования специальной одежды: автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.19.04/СПГУТД, Санкт-Петербург, 2001. - 49 с.
159. Раздомахин Н.Н., Басуев А.Г., Сурженко Е.Я. Построение замкнутых в пространстве линий проймы и оката рукава с заданной посадкой // Швейная промышленность. - 1995. - № 6. - С. 22-23
160. Бахтина, Е.Ю. Разработка эргономически рациональных конструкций одежды для женщин-военнослужащих: Автореф. дис. ...канд. техн. наук: 05.19.04. - СПб.: СПбГУТД, 2000. - 18 с.
161. МаксUTOва, М. Т. Разработка метода гибкой параметризации конструкции одежды, проектируемой в 2D САПР: дис. ... канд. техн. наук/М. Т. МаксUTOва; МГУДТ. -М., 2011. - 172 с.
162. М. Р. Сапин, З. Г. Брыксина. Введение // Анатомия человека. — М.: Просвещение, 1995. — С. 4. — 464 с.
163. Mas, Nuket & Karabekir, Hamit & Edizer, Mete & Magden, Orhan. (2011). Importance of Anatomical Landmarks on Axillary Neurovascular Territories for Surgery. 10.5772/28367.
164. ГОСТ 31399-2009 Классификация типовых фигур мужчин по ростам, размерам и полнотным группам для проектирования одежды.
165. Fangfang Zhang, Trevor John Little, (2018) "Dynamic ease evaluation for 3D garment design", Journal of Fashion Marketing and Management: An International Journal, Vol. 22 Issue: 2, pp.209-222, <https://doi.org/10.1108/JFMM-07-2017-0074>

166. J.Geršak Wearing comfort using body motion analysis // *Anthropometry, Apparel Sizing and Design Woodhead Publishing Series in Textiles* 2014, Pages 320-333
167. Н.А. Рахманов и С.И. Стаханова Устранение дефектов одежды. Москва. 1985. С.128.
168. Математическое моделирование технологических процессов: курс лекций /В.Б. Пономарев, А.Б. Лошкарев. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ–УПИ, 2006. 129 с.
169. P Kelly. Solid mechanics part II: Engineering solid mechanics small strain. The *University of Auckland*, 2013.
170. Silvano Erlicher, Luca Bonaventura, and Oreste S Bursi. The analysis of the generalized- a methods for non-linear dynamic problems. 2001.

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ А

**Акты внедрения и апробации результатов
диссертационного исследования**

УТВЕРЖДАЮ

УТВЕРЖДАЮ

Директор экспериментального цеха
ООО «Магна»

Ректор ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина»



М.В. Киселева

2019 г.


В.С. Белгородский
« » 2019 г.

АКТ производственной проверки результатов,
полученных в диссертационной работе Тюрина Игоря Николаевича

Мы, нижесписавшиеся, директор экспериментального цеха ООО «Магна» Киселева М.В., с одной стороны, и кандидат технических наук, доцент кафедры ХМ,КиТШИ Гетманцева В.В. и аспирант Тюрин И.Н., с другой стороны, составили настоящий акт о производственной проверке результатов, полученных при выполнении диссертационной работы «Разработка цифрового аппарата процесса проектирования компрессионной одежды спортивного назначения».

Дата внедрения – апрель – май 2019 года.

Объект внедрения - алгоритмы конструирования поясной и плечевой одежды спортивного назначения из высокоэластичных трикотажных полотен.

Условия внедрения – изготовление мужских тайтсов и рашгарда из высокоэластичного трикотажного полотна Трико 92 % полиэстер, 8 % эластан.

Предприятию переданы 2 комплекта чертежей. При изготовлении изделий было использовано оборудование предприятия.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Разработанные чертежи конструкции удовлетворяют требованиям предприятия, а изготовленные образцы обладают высокими потребительскими свойствами.

От ООО «Магна»

От РГУ им. А.Н. Косыгина

Директор экспериментального цеха

Доцент каф. ХМ,КиТШИ, к.т.н



М.В. Киселева



В.В. Гетманцева

www.magna-safety.ru

www.magna-corp.ru

Аспирант



И.Н. Тюрин

www.rgu.ru



ООО "Магна"
143009, Московская область,
г. Одинцово, ул. Садовая д. 28, офис 6
ИНН 7730585309 КПП 503201001
ОГРН 1087746749793
+7 (499) 962-40-85 | +7 (495) 109-08-80
sekretar@magna-corp.ru
www.magna-corp.ru | www.magna-safety.ru

05.06.19 № 308
На № _____ от _____

АКТ ВНЕДРЕНИЯ

Настоящий акт о внедрении результатов диссертационной работы на тему «Разработка цифрового аппарата процесса проектирования компрессионной одежды спортивного назначения» Тюрина И.Н., выполненной на кафедре Художественного моделирования, конструирования и технологии швейных изделий технологического института легкой промышленности Российского государственного университета им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство), на предприятии ООО «Магна».

В условиях ООО «Магна» при разработке новых моделей мужской одежды использованы результаты научных исследований Тюрина И.Н., а именно теоретические и практические разработки в области проектирования конструкций плотнооблегающей спортивной одежды. В результате промышленного внедрения получено следующее:

1. Использование предложенных алгоритмов конструирования плотнооблегающей одежды позволило сократить затраты на разработку нового ассортимента мужской одежды.
2. Внедрение ассортимента плотнооблегающей спортивной одежды и реализация в торговле показали повышенный спрос на данную продукцию.
3. Предложенные в диссертации методики, расчетные формулы и алгоритмы проектирования плотнооблегающей одежды позволили целенаправленно и ускоренно разработать новые модели мужской одежды с использованием инновационных материалов.

Директор экспериментального цеха



 М.В. Киселева

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по науке

ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина»

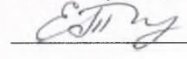

 Проф. А.В. Силаков
 « » 202 г.

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор

ООО «Алексеевская фабрика

художественного ткачества»


 А.В. Терентьева
 « 03 » 12 2021 г.



АКТ АПРОБАЦИИ

Настоящий акт составлен о том, что в условиях промышленного производства произведена апробация основных положений диссертационной работы Тюрина Игоря Николаевича на тему «Разработка цифрового аппарата процесса проектирования компрессионной одежды спортивного назначения», а именно:

- способ конструирования разверток втачного рукава для проектирования плотнооблегающей и компрессионной одежды спортивного назначения.

Произведенная оценка разработанного способа конструирования втачного рукава свидетельствует о применимости в процессе проектирования текстильных и швейных изделий с учетом внесения корректировок, учитывающих физико-механические свойства тканых полотен.

От ООО «Алексеевская ФХТ»

Директор Терентьева Е.В.



От ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина»

Научный руководитель проф. Гетманцева В.В.



Соискатель Тюрин И.Н.



«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по науке

ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина»

Проф. А.В. Силаков

« » 2022 г.

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор

ООО «ИНТЕРТЕКСТИЛЬ корп.»

О.Е. Балашов

« 22 » февраля 2022 г.

АКТ ВНЕДРЕНИЯ

Акт составлен между представителями ООО «ИНТЕРТЕКСТИЛЬ корп.» и представителями ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина» о внедрении и апробации основных результатов диссертационной работы Тюрина И.Н. на тему «Разработка цифрового аппарата процесса проектирования компрессионной одежды спортивного назначения», выполненной на кафедре ХМ,КиТШИ.

В условиях масс-кастомизированного производства произведена апробация и внедрение:

- ❖ способа обеспечения однородности компрессионных свойств трикотажных оболочек спортивного назначения за счет введения зон гибридной эластичности.

В результате проведенной апробации установлено, что основные результаты могут быть применимы как в условиях масс-кастомизированного производства, так и при изготовлении спортивной одежды по индивидуальному заказу.

От ООО «ИНТЕРТЕКСТИЛЬ корп.»

Директор Балашов О.Е.



От ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина»

Научный руководитель проф. Гетманцева В.В.

Соискатель Тюрин И.Н.

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по науке

ФГБОУ ВО «РГУ» им. А.Н. Косыгина»

Проф. А.В. Силаков

«20» сентября 2022 г.

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор

ООО «Хакамая»

П.В. Катаев

«20» сентября 2022 г.

АКТ АПРОБАЦИИ

Акт составлен между представителями ООО «Хакамая» и представителями ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина» об апробации основных результатов диссертационной работы Тюрина И.Н. на тему «Разработка цифрового аппарата процесса проектирования компрессионной одежды спортивного назначения», выполненной на кафедре ХМ,КиТШИ.

В условиях масс-кастомизированного производства произведена апробация:

- ❖ способа конструирования разверток втачного рукава для проектирования плотнооблегающей и компрессионной одежды спортивного назначения;
- ❖ модели прогнозирования компрессионного давления на основе энергетического принципа, предназначенная для проведения экспресс-анализа уровней компрессионного воздействия на стадии проектирования разверток компрессионной одежды;
- ❖ способа обеспечения однородности компрессионных свойств трикотажных оболочек спортивного назначения за счет введения зон гибридной эластичности.

В результате проведенной апробации установлено, что основные результаты могут быть применимы как в условиях масс-кастомизированного производства, так и при изготовлении спортивной одежды по индивидуальному заказу.

От ООО «Хакамая»

Директор Катаев П.В.



От ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина»

Научный руководитель проф. Гетманцева В.В.

Соискатель Тюрин И.Н.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Классификации свойств изделий легкой промышленности

Существующая классификация ассортимента плотнооблегающей одежды спортивного назначения

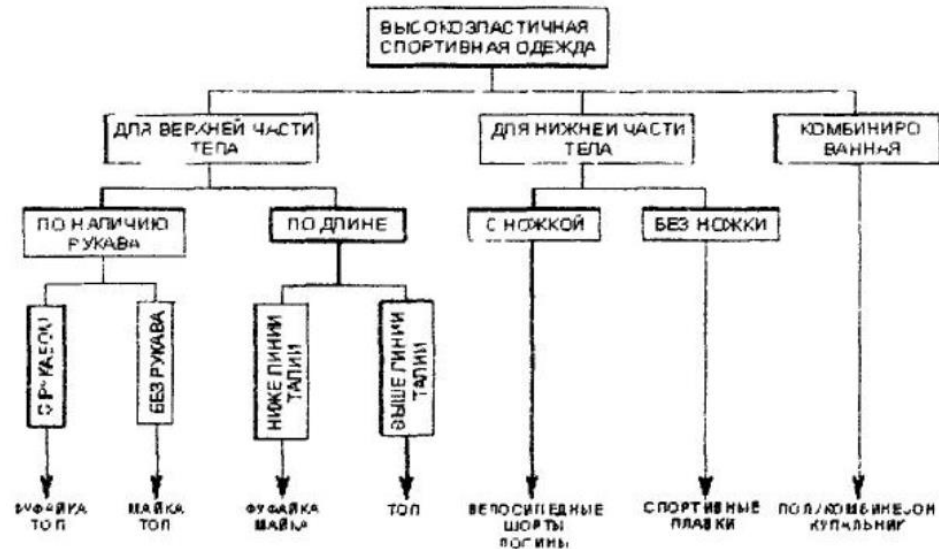


Рисунок Б.1 – Классификация ассортимента спортивной одежды из высокоэластичных материалов (из докт. дисс. Старковой Г.П.)

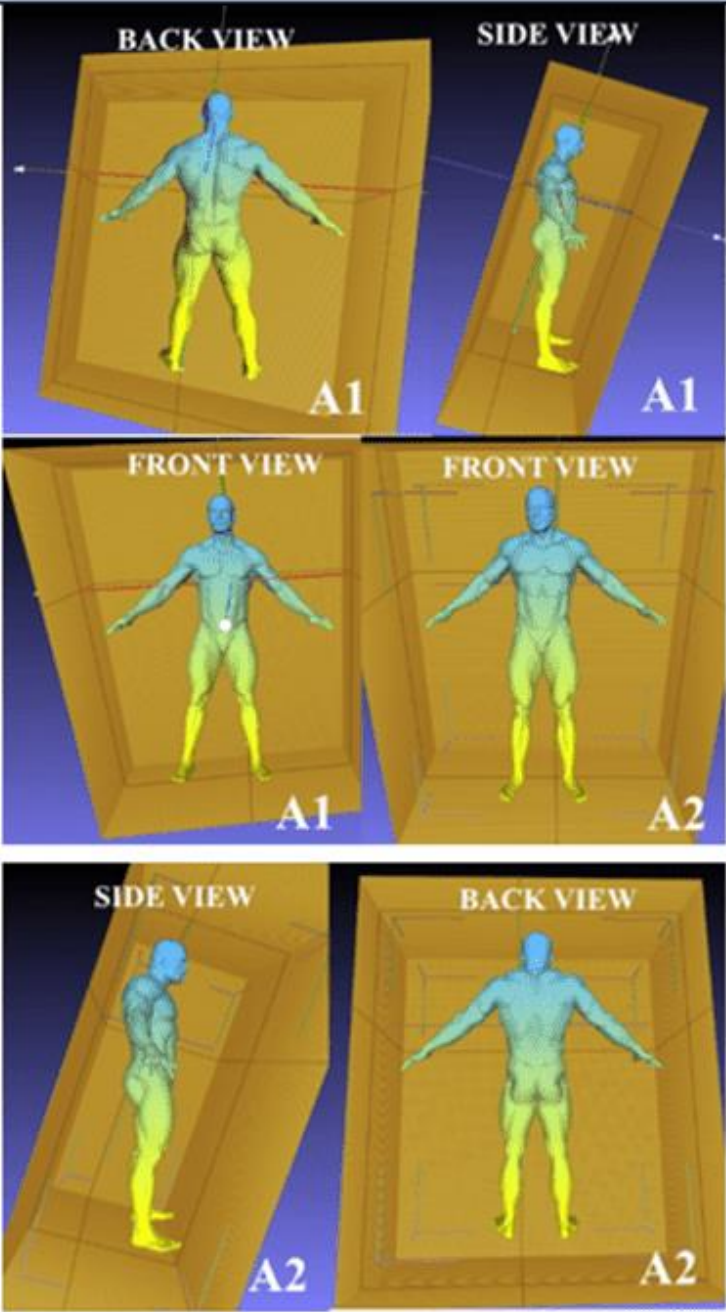


Рисунок Б.2 – Классификация потребительских свойств изделий легкой промышленности

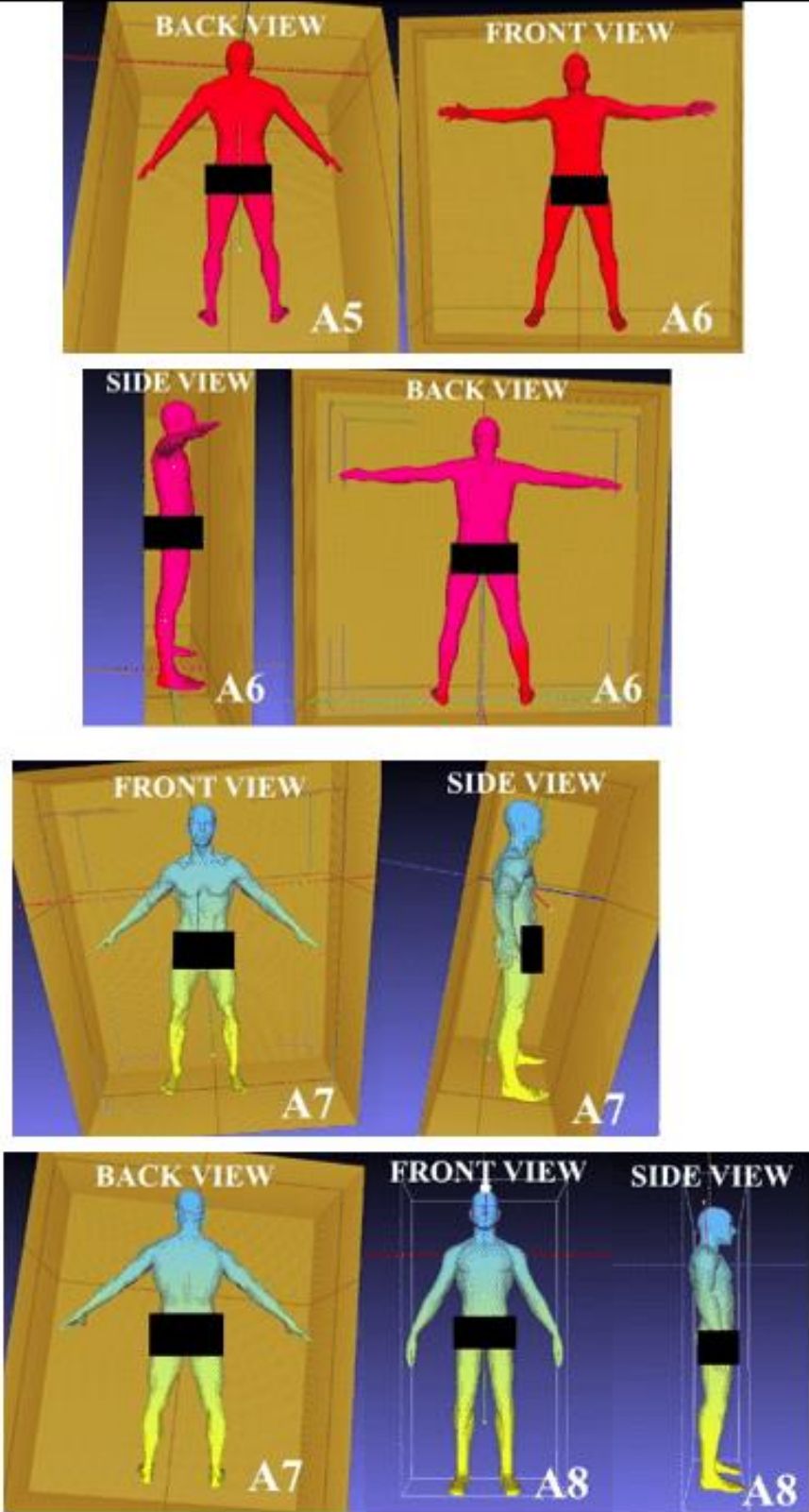
ПРИЛОЖЕНИЕ В

База трехмерных моделей мужских фигур спортсменов

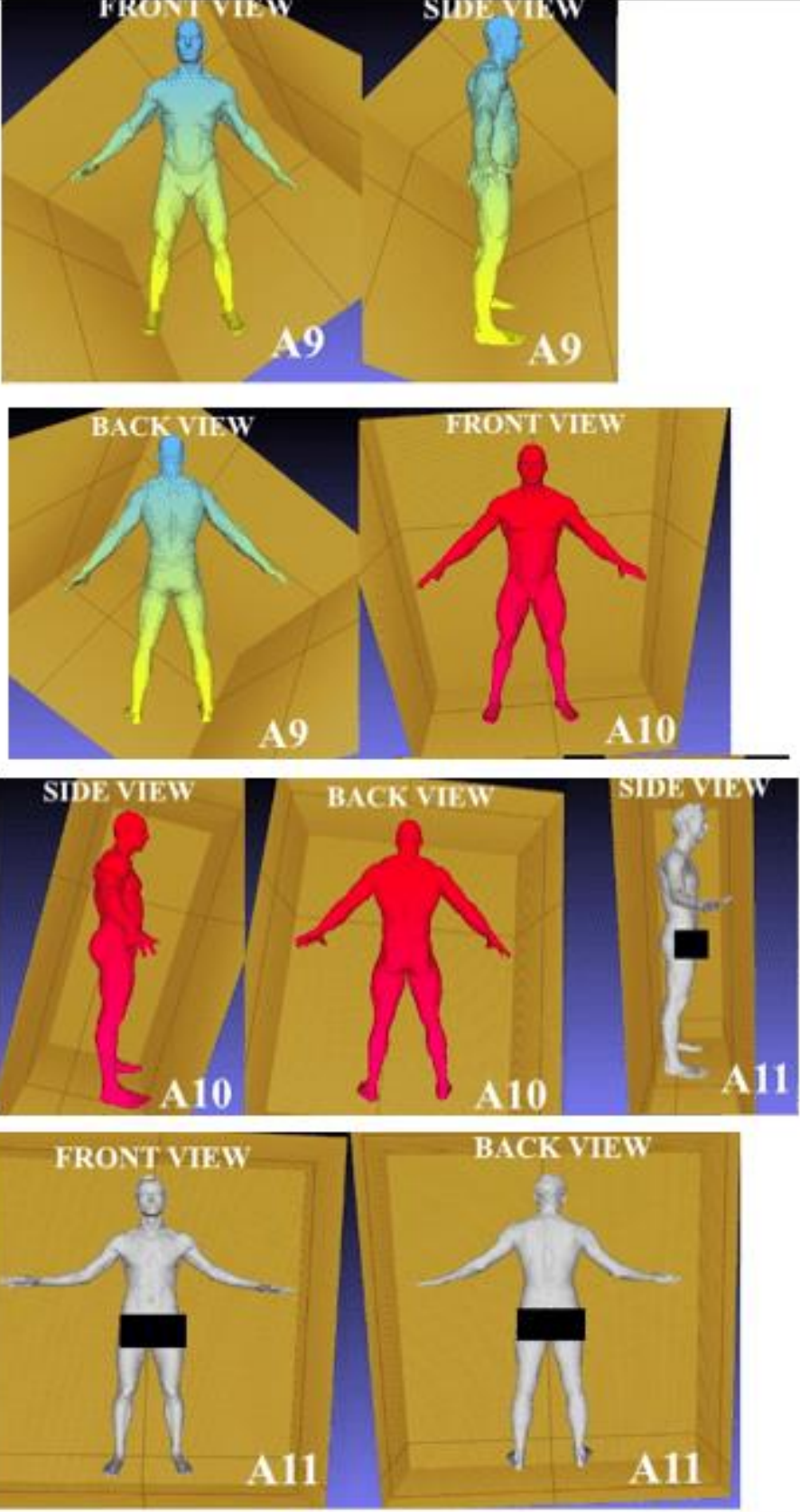
Таблица В.1 - База трехмерных моделей мужских фигур спортсменов (N=34)

№	3 вида моделей
1	2
1	

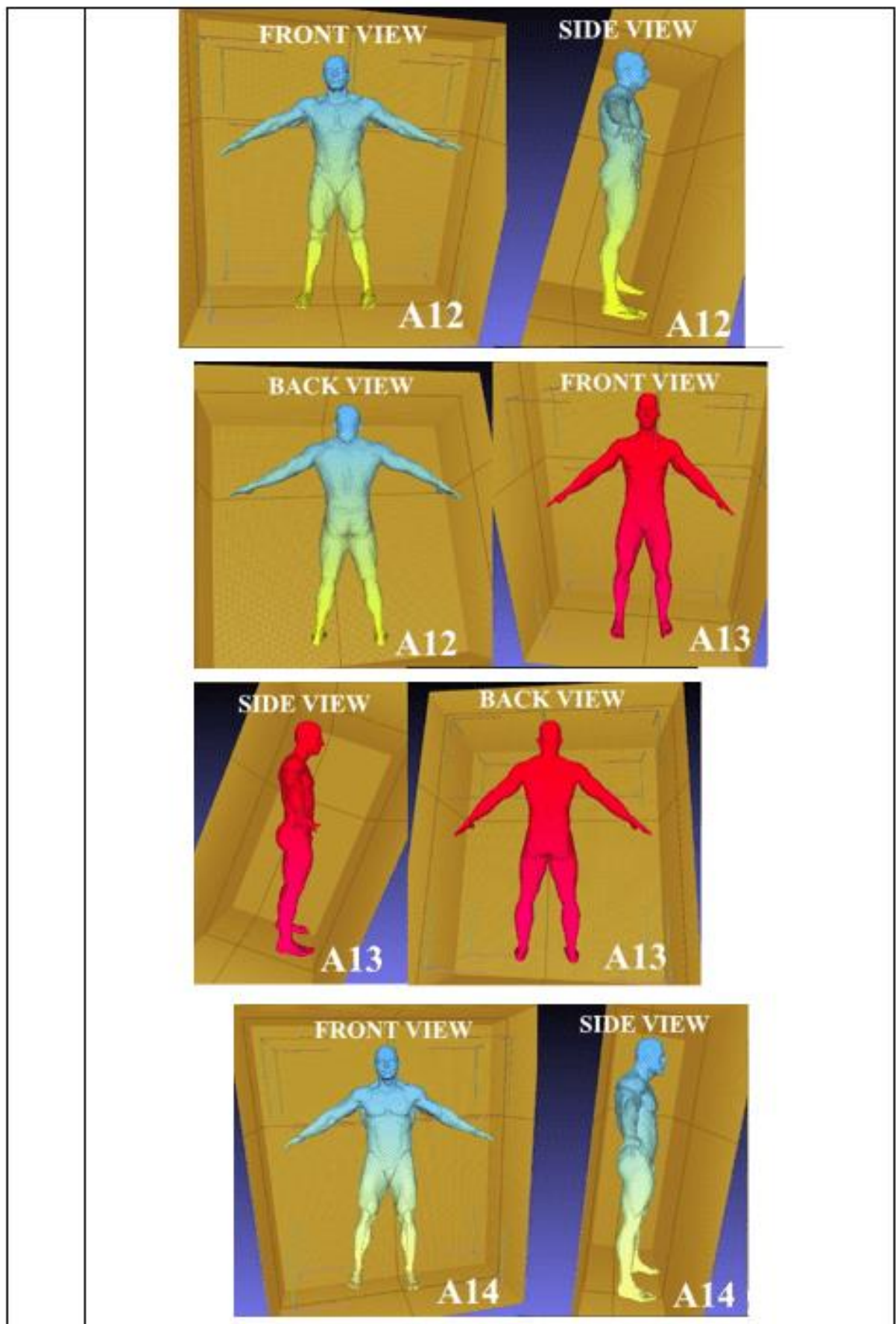
Продолжение таблицы В.1

5	 The diagram illustrates four sets of human body measurements, each represented by a different colored figure (red, pink, blue, and yellow) standing within a 3D wireframe box. Each figure has a black rectangular area on its torso, likely representing a sensor or measurement point. Set 1 (Red Figure): Shows the BACK VIEW (labeled A5) and the FRONT VIEW (labeled A6). Set 2 (Pink Figure): Shows the SIDE VIEW (labeled A6) and the BACK VIEW (labeled A6). Set 3 (Blue Figure): Shows the FRONT VIEW (labeled A7) and the SIDE VIEW (labeled A7). Set 4 (Yellow Figure): Shows the BACK VIEW (labeled A7), the FRONT VIEW (labeled A8), and the SIDE VIEW (labeled A8).

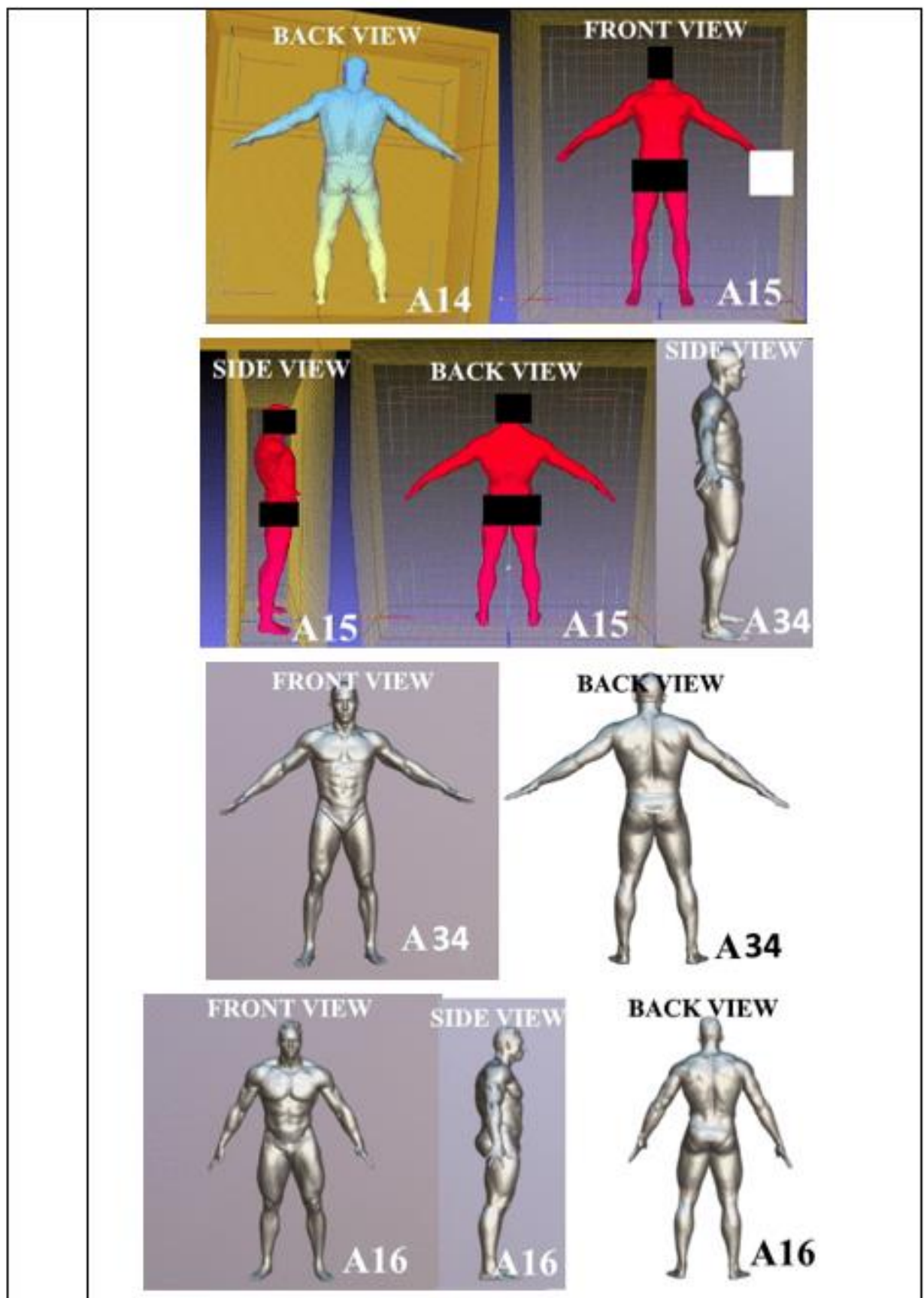
Продолжение таблицы В.1

6	 The image displays a sequence of eight 3D renderings of a male figure in a wireframe model, arranged in four rows of two. The figure is shown from various perspectives: front, side, and back. The renderings are labeled with view names and codes. - Row 1: FRONT VIEW (A9) and SIDE VIEW (A9). The figure is blue. - Row 2: BACK VIEW (A9) and FRONT VIEW (A10). The figure is red. - Row 3: SIDE VIEW (A10), BACK VIEW (A10), and SIDE VIEW (A11). The figure is red. - Row 4: FRONT VIEW (A11) and BACK VIEW (A11). The figure is white. The background is a yellowish-brown grid. The labels A9, A10, and A11 are positioned at the bottom right of each respective rendering.

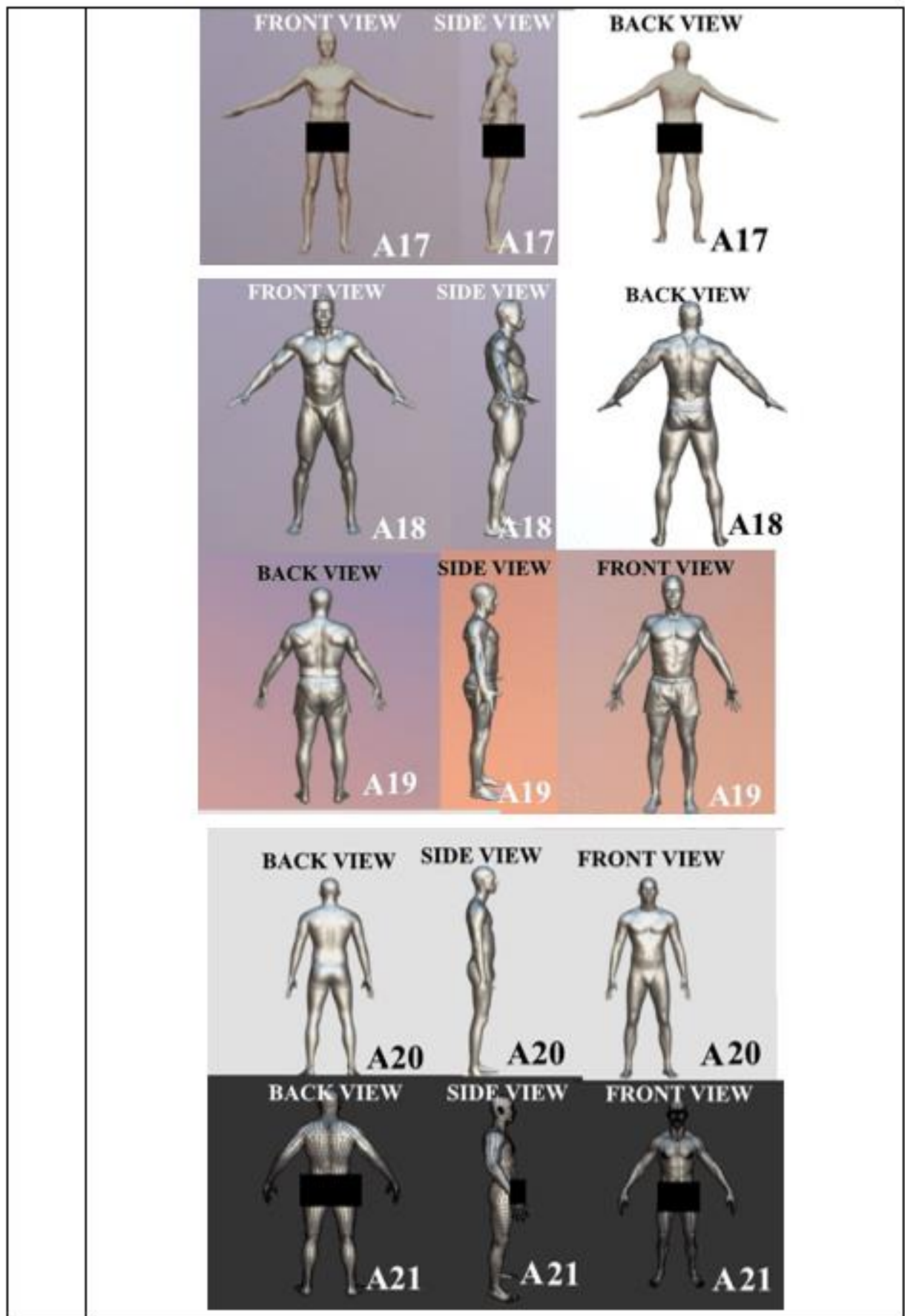
Продолжение таблицы В.1



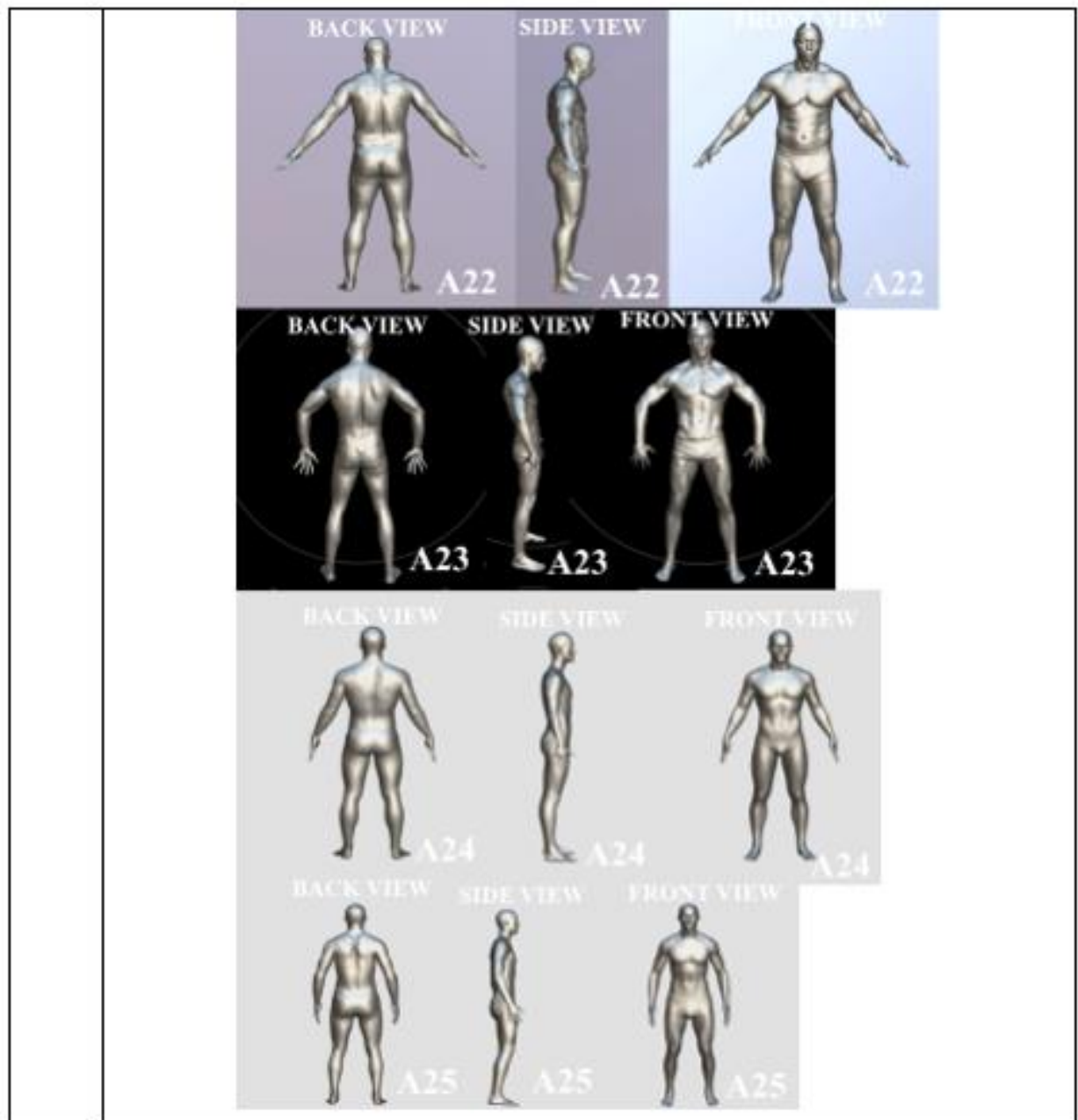
Продолжение таблицы В.1



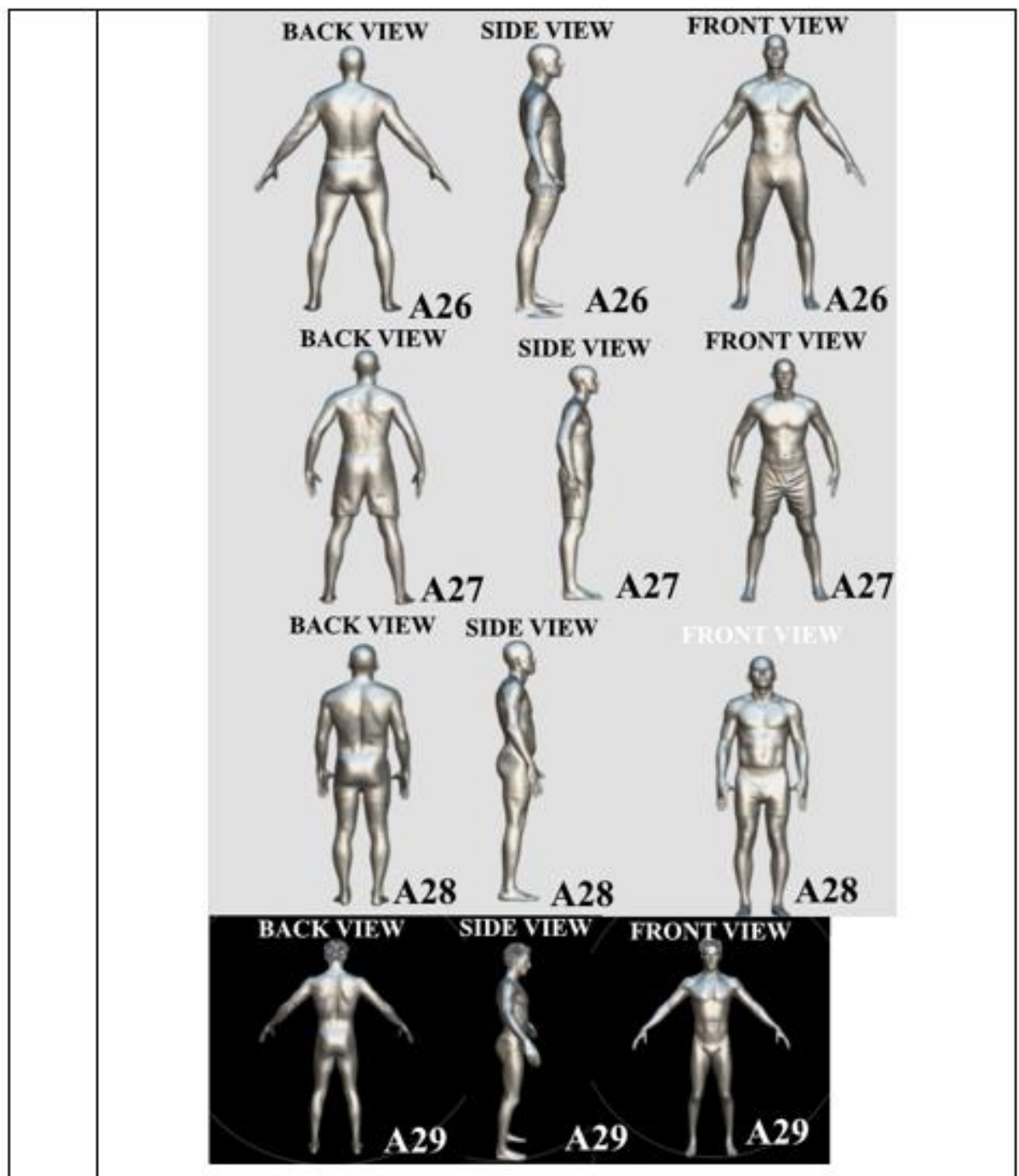
Продолжение таблицы В.1



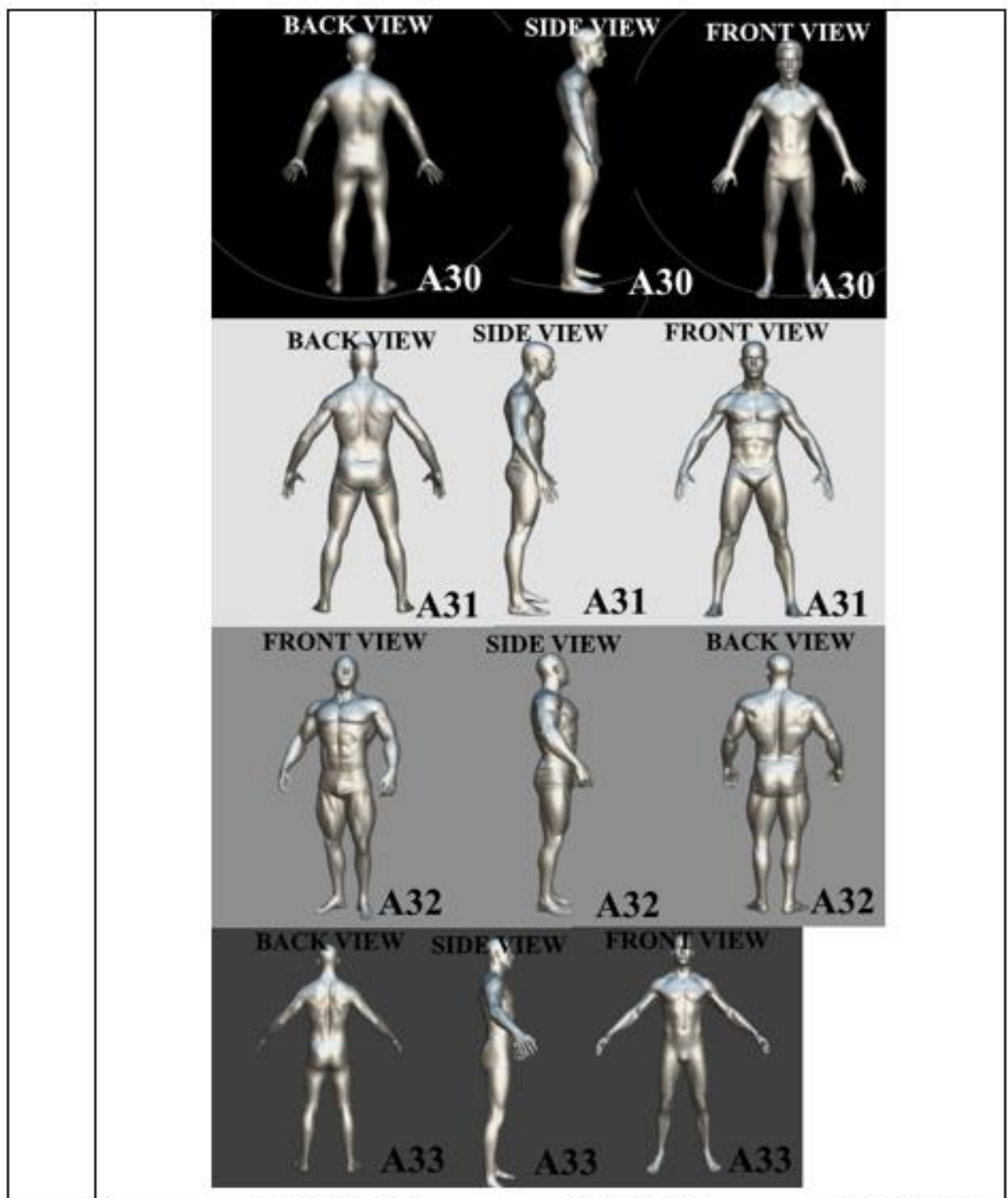
Продолжение таблицы В.1



Продолжение таблицы В.1



Продолжение таблицы В.1



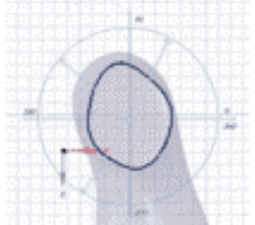
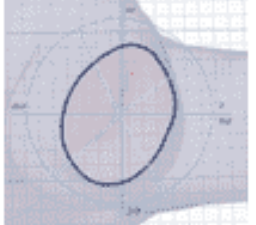
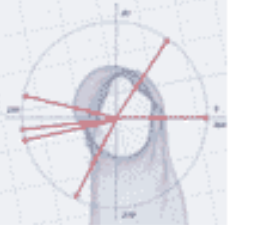
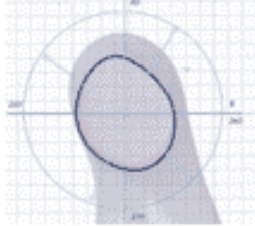
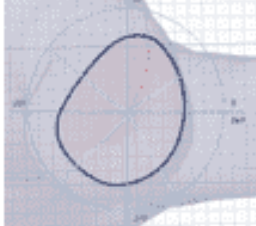
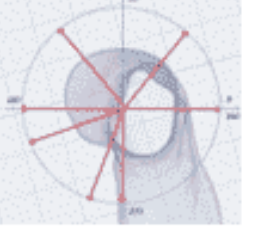
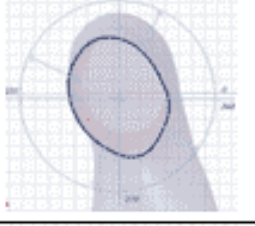
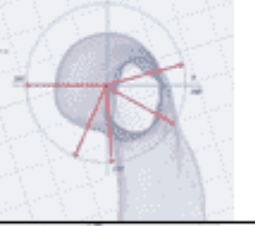
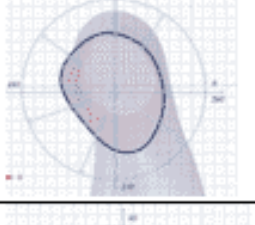
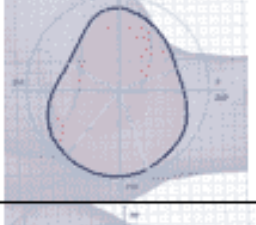
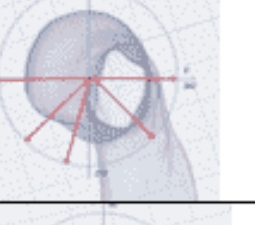
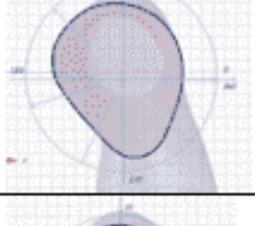
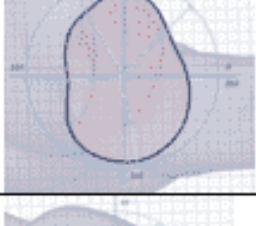
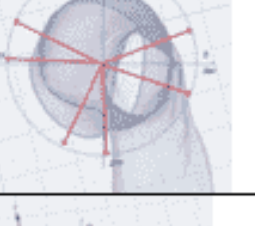
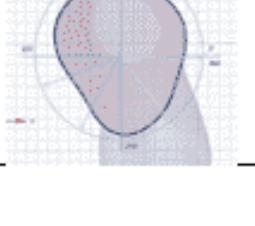
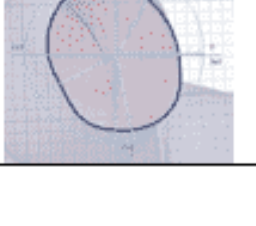
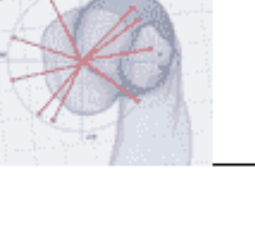
Вид спереди – FRONT VIEW, вид сбоку – SIDE VIEW, вид сзади – BACK VIEW.

Обозначение номеров моделей – A1 ... A34.

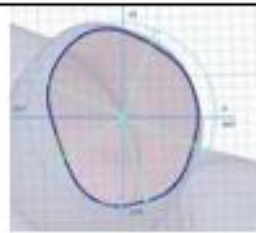
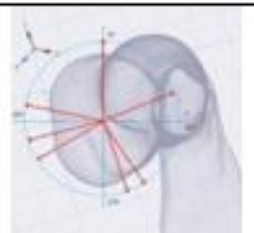
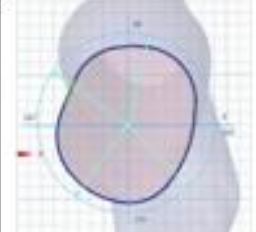
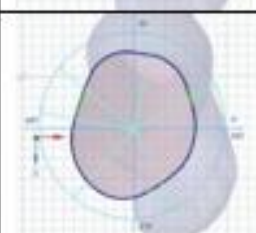
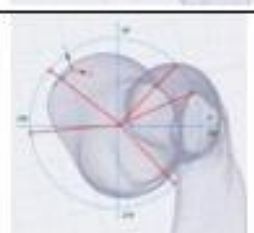
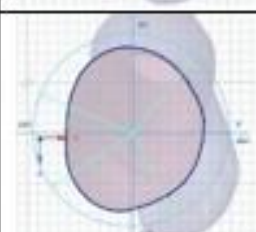
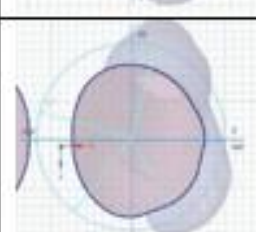
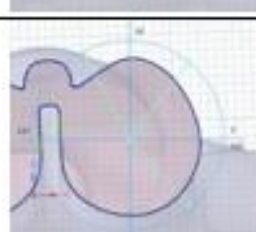
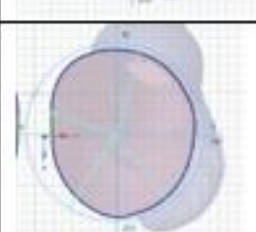
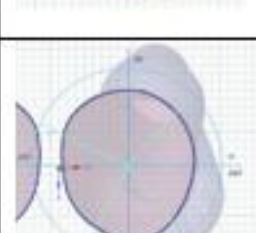
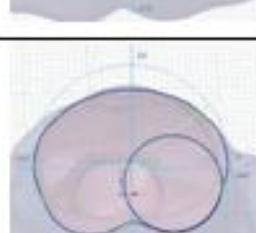
Таблица В.2 – Ключевые антропометрические параметры исследуемых фигур

Параметр Номер 3d-скана фигуры	1	2	3	4	5
	Рост, см	Обхват груди, см	Обхват талии, см	Обхват бедер, см	Индекс Пинье
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
1	183,88	133,73	86,74	110,06	-28,03
2	182,93	126,73	89,08	105,44	-11,05
3	172,12	95,6	79,80	94,90	45,24
4	176,38	138,9	98,23	115,20	-38,84
5	184,13	112,76	83,88	104,28	11,02
6	171,09	98,03	82,54	102,14	13,35
7	186,75	113,08	82,95	106,42	14,04
8	183,44	111,44	83,57	108,23	10,30
9	170,50	127,60	91,27	106,48	13,08
10	171,44	133,58	89,02	109,50	-24,10
11	178,31	120,14	93,06	107,34	19,23
12	177,34	128,71	92,18	112,98	-27,19
13	173,75	120,10	86,31	113,83	-10,51
14	181,75	134,37	93,39	110,31	-22,41
15	173,15	123,60	87,28	113,12	-10,49
16	180,00	133,25	91,86	111,65	-36,50
17	188,20	105,96	79,04	97,85	38,05
18	174,59	120,73	88,38	107,12	-12,51
19	181,74	113,98	82,95	113,32	-3,20
20	182,91	100,07	82,82	103,77	28,03
21	185,20	114,05	83,47	104,05	5,94
22	185,68	127,40	97,42	109,77	-17,73
23	176,12	111,69	81,10	106,40	9,25
24	183,83	118,69	86,32	110,41	5,85
25	177,33	114,32	89,54	105,06	16,29
26	185,86	106,56	81,86	103,64	4,32
27	174,15	111,31	79,94	103,31	-3,07
28	177,16	113,92	87,88	106,89	10,61
29	187,74	106,54	80,41	103,83	22,18
30	184,66	102,04	82,92	102,64	32,79
31	186,22	116,38	81,17	102,06	16,20
32	187,95	126,70	89,30	111,69	-22,27
33	177,50	105,70	80,77	101,10	21,46
34	181,56	129,13	90,37	112,29	-17,34

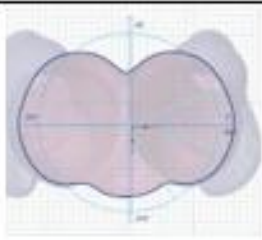
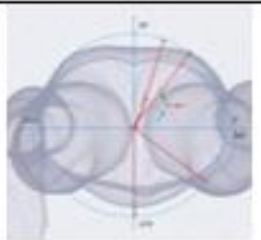
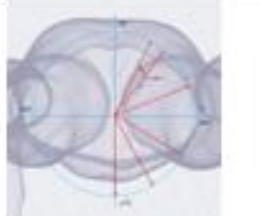
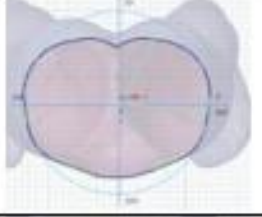
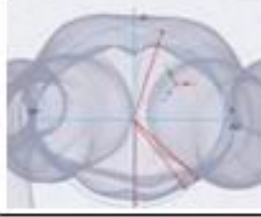
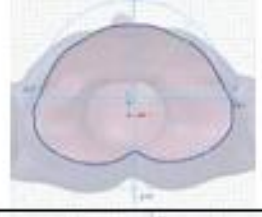
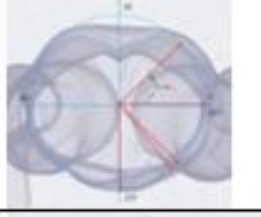
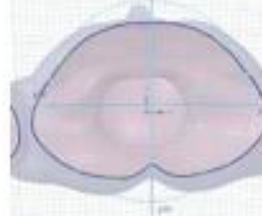
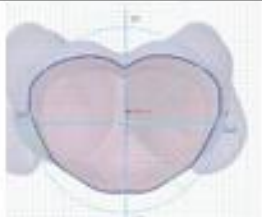
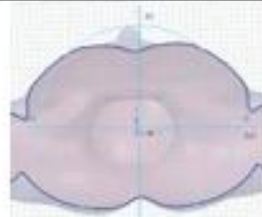
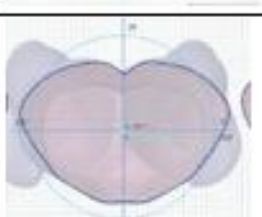
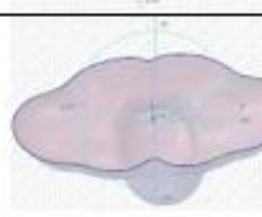
Таблица В.3 – Результаты исследования кривизны поверхности тела исследуемых фигур

№ п/п	Обозначение трехмерной модели	Обозначение уровня снятия поперечного сечения		
		<i>A1</i>	<i>A2</i>	<i>A3</i>
1	2	3	4	5
1	L^2			
2	L^2			
3	L^3			
4	L^4			
5	L^5			
6	L^6			

Продолжение таблицы В.3

7	L^7			
8	L^8			
9	L^9			
10	L^{10}			
11	L^{11}			
12	L^{12}			
13	L^{13}			

Продолжение таблицы В.3

14	L^{14}			
15	L^{15}			
16	L^{16}			
17	L^{17}			
18	L^{18}			
19	L^{19}			
20	L^{20}			

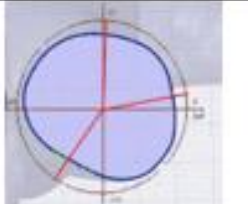
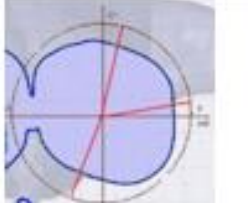
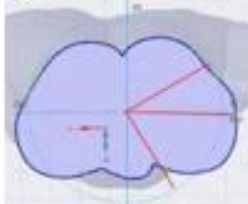
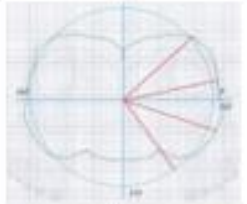
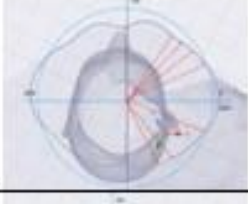
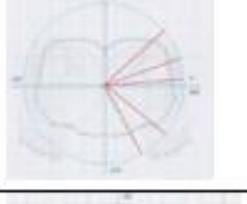
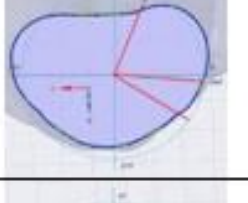
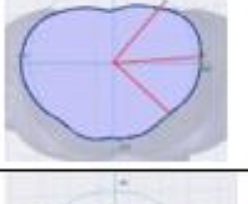
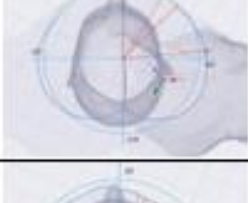
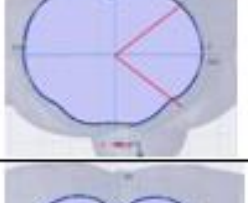
Продолжение таблицы В.3

21	L^{21}			
22	L^{22}			
23	L^{23}			
24	L^{24}			
		Обозначение уровня снятия поперечного сечения		
		$A4$	$A5$	$A6$
1	L^1			
2	L^2			
3	L^3			

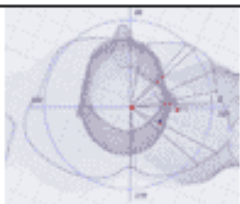
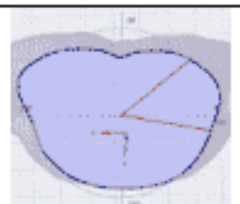
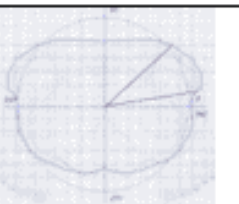
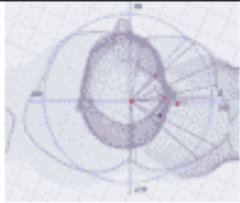
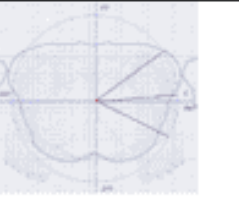
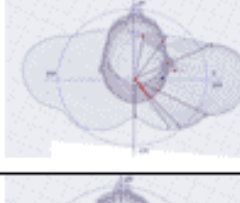
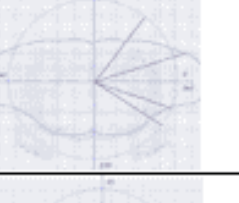
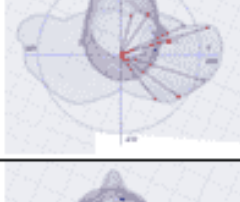
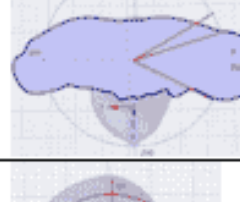
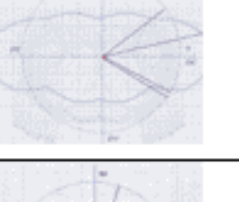
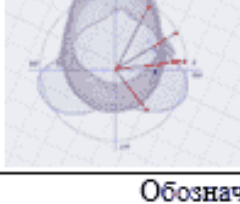
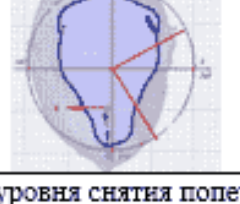
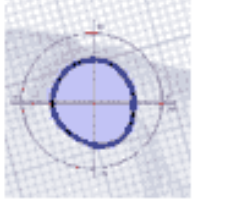
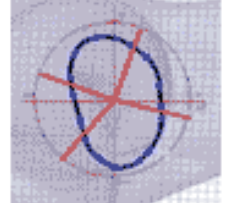
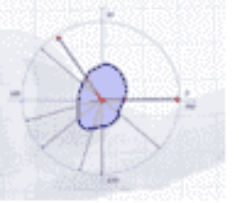
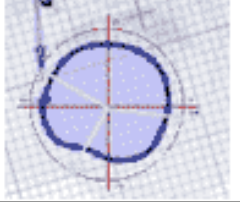
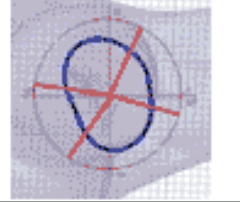
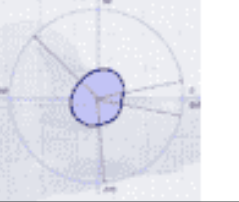
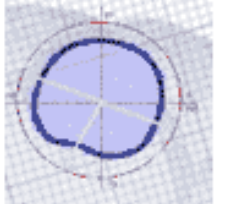
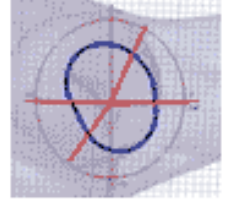
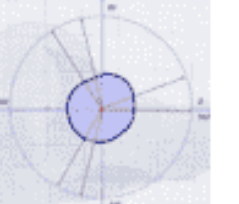
Продолжение таблицы В.3

4	L^4			
5	L^5			
6	L^6			
7	L^7			
8	L^8			
9	L^9			
10	L^{10}			
11	L^{11}			

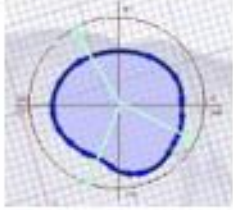
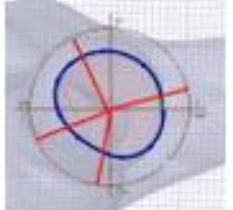
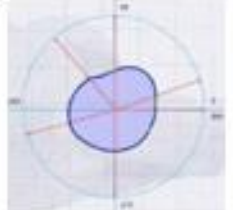
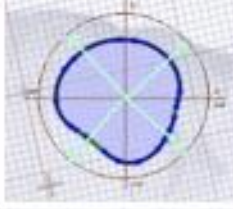
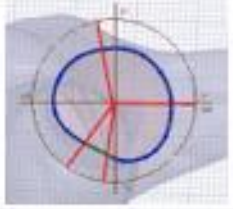
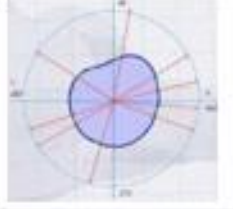
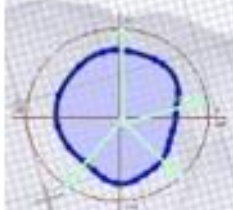
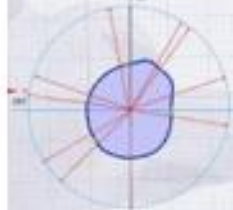
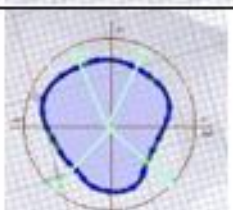
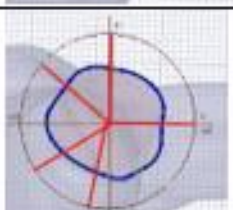
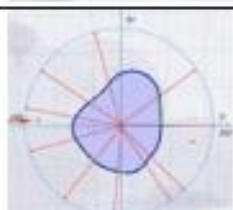
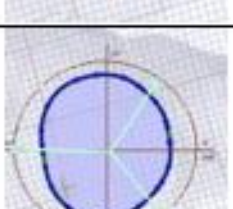
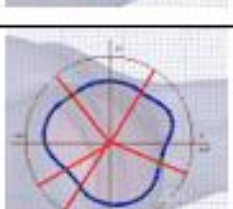
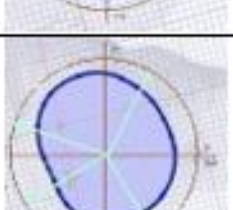
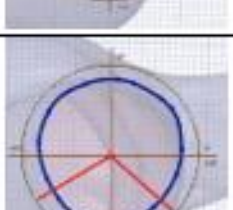
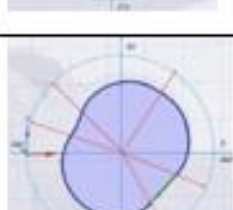
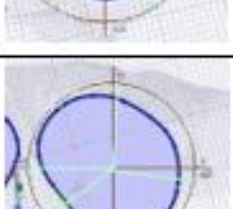
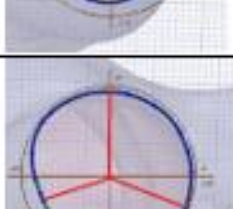
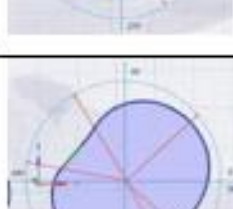
Продолжение таблицы В.3

12	L^{12}			
13	L^{13}			
14	L^{14}			
15	L^{15}			
16	L^{16}			
17	L^{17}			
18	L^{18}			
19	L^{19}			

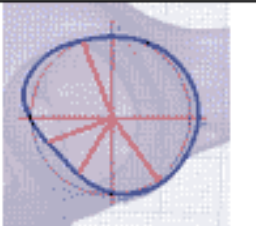
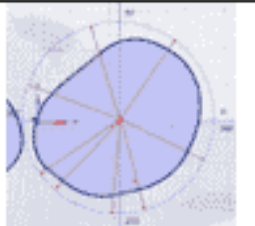
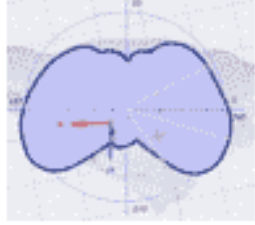
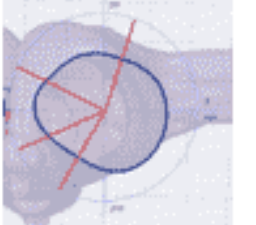
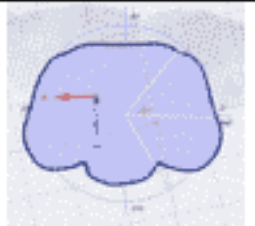
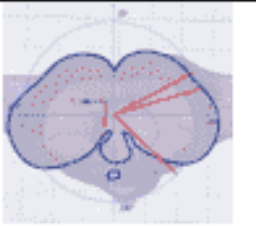
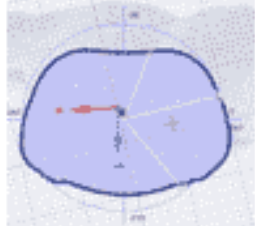
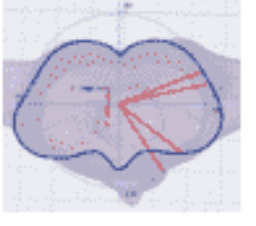
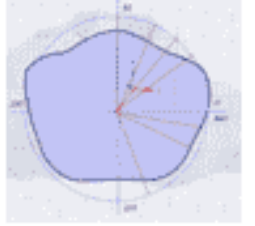
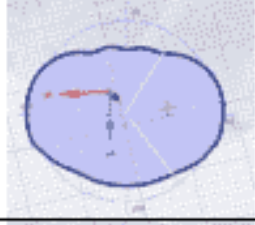
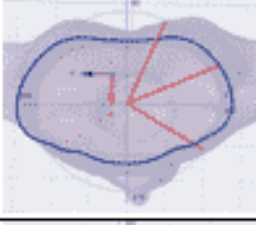
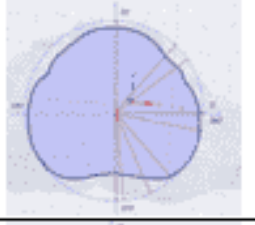
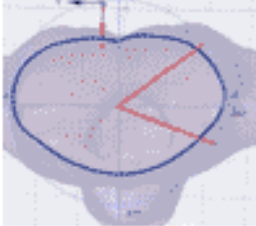
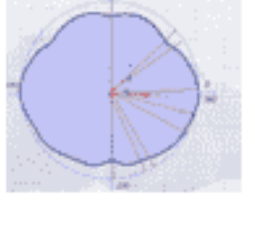
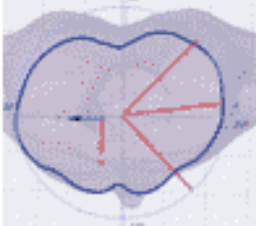
Продолжение таблицы В.3

20	L^{20}			
21	L^{21}			
22	L^{22}			
23	L^{23}			
24	L^{24}			
		Обозначение уровня сужения поперечного сечения		
		$A7$	$A8$	$A9$
1	L^1			
2	L^2			
3	L^3			

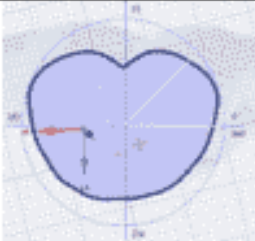
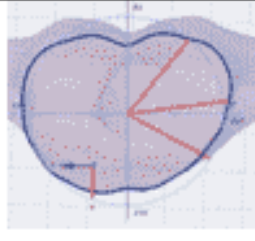
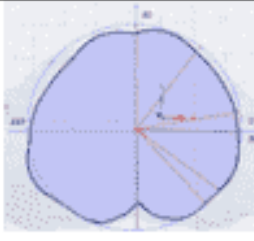
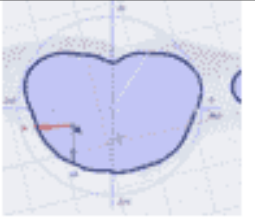
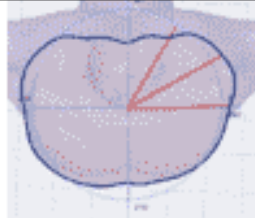
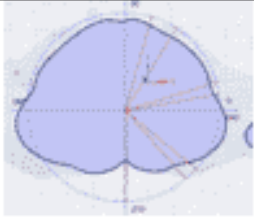
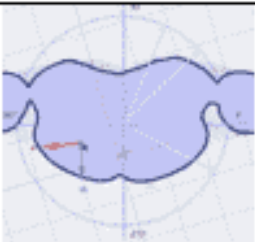
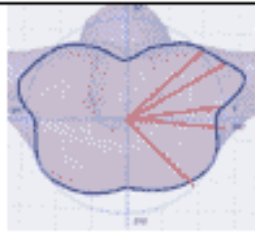
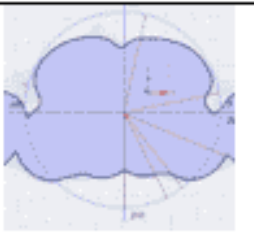
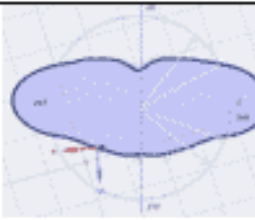
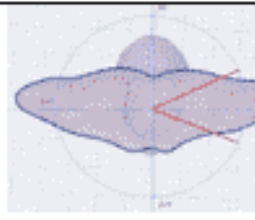
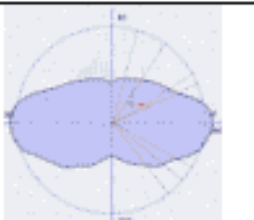
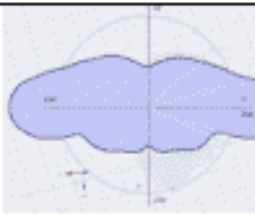
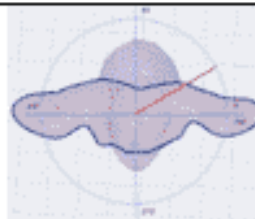
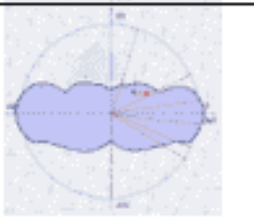
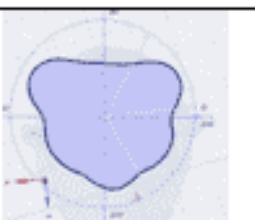
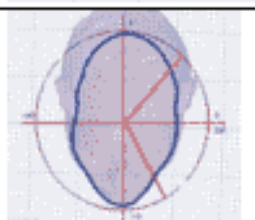
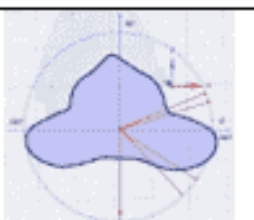
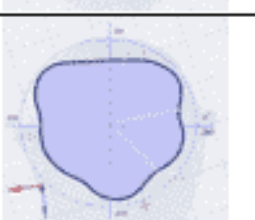
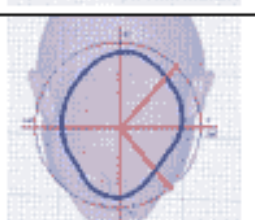
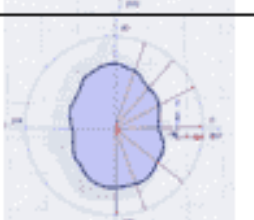
Продолжение таблицы В.3

4	L^4			
5	L^5			
6	L^6			
7	L^7			
8	L^8			
9	L^9			
10	L^{10}			

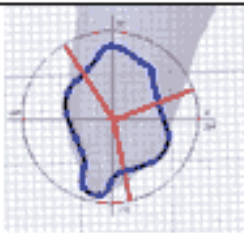
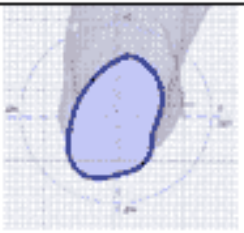
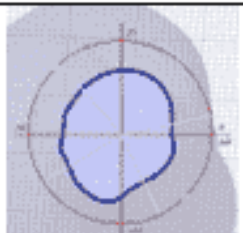
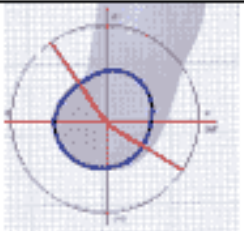
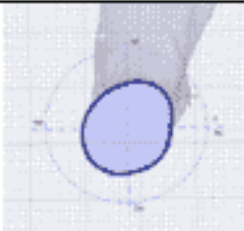
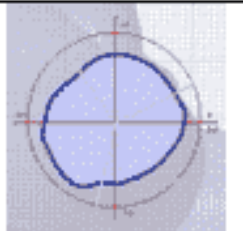
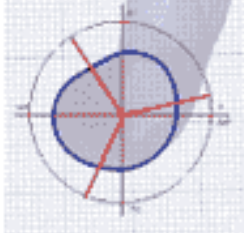
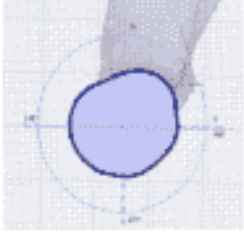
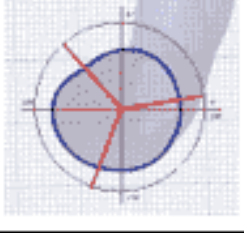
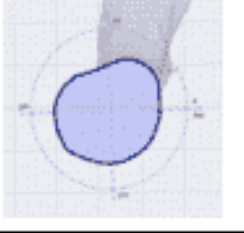
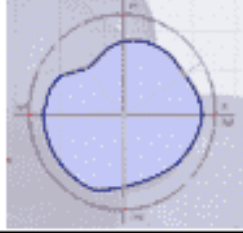
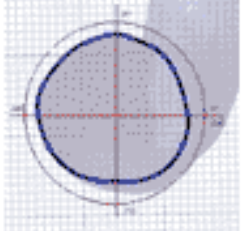
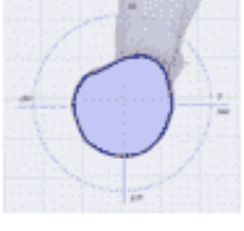
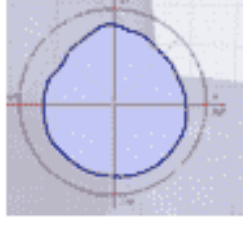
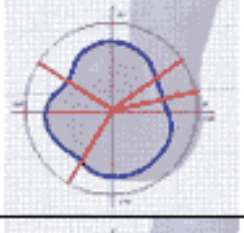
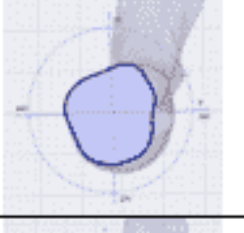
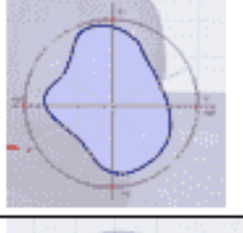
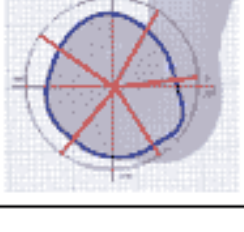
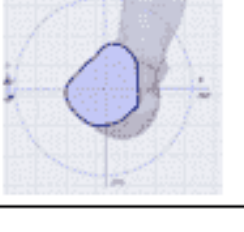
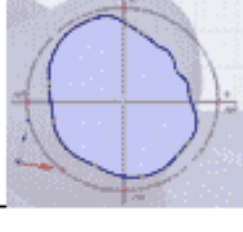
Продолжение таблицы В.3

11	L^{11}			
12	L^{12}			
13	L^{13}			
14	L^{14}			
15	L^{15}			
16	L^{16}			
17	L^{17}			

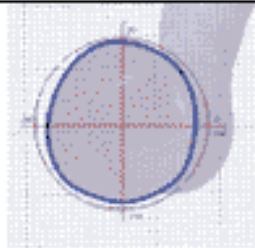
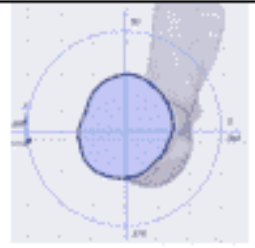
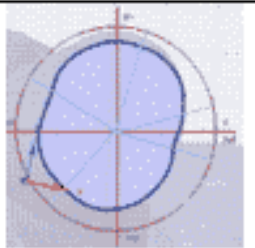
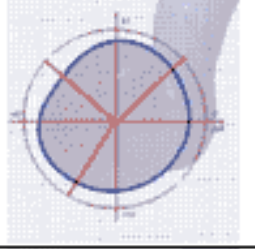
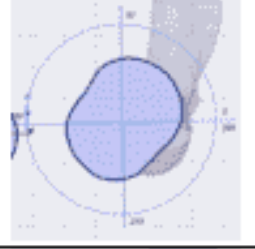
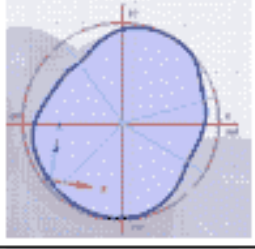
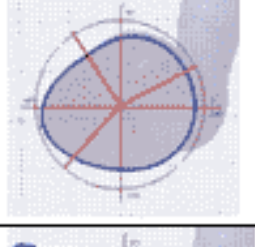
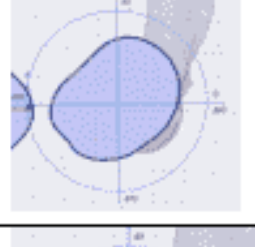
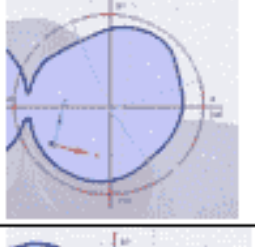
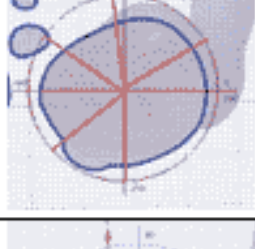
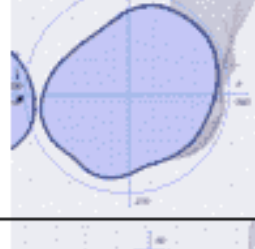
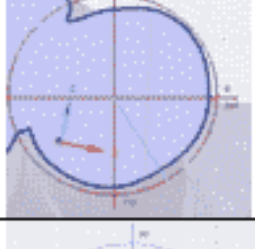
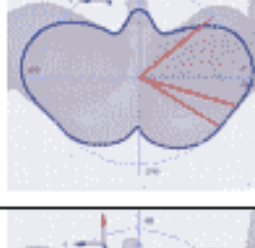
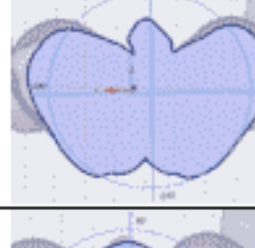
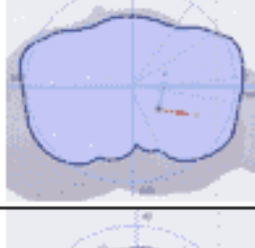
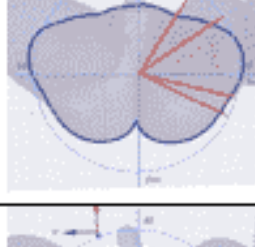
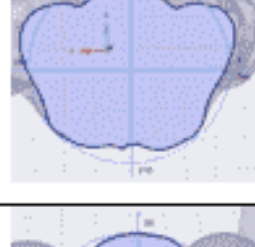
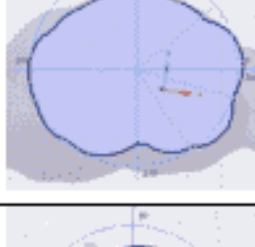
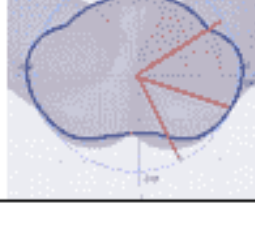
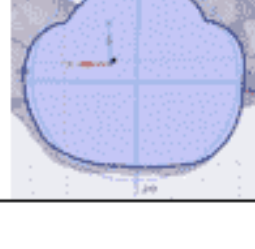
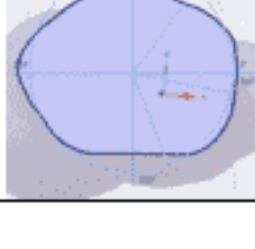
Продолжение таблицы В.3

18	L^{18}			
19	L^{19}			
20	L^{20}			
21	L^{21}			
22	L^{22}			
23	L^{23}			
24	L^{24}			
		Обозначение уровня снятия поперечного сечения		
		A10	A11	A12

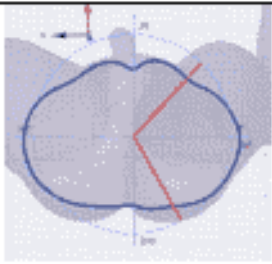
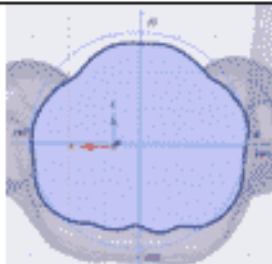
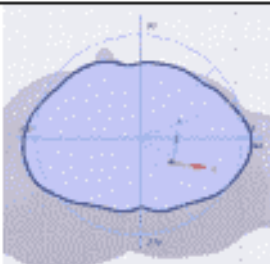
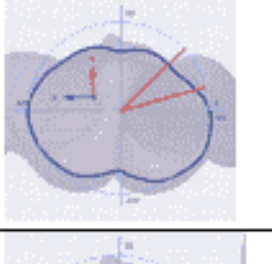
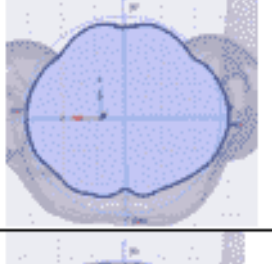
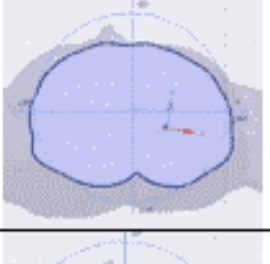
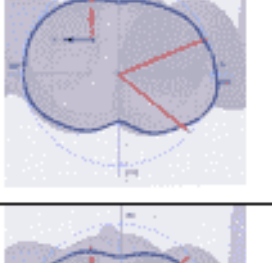
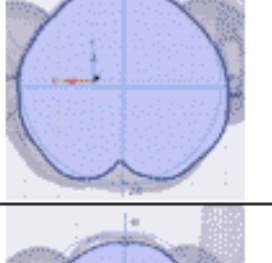
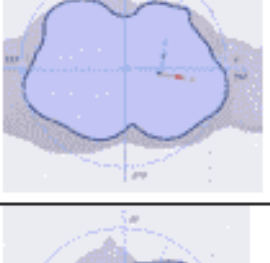
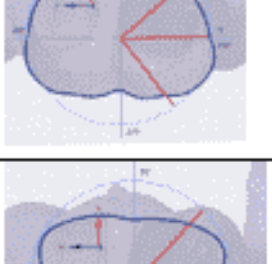
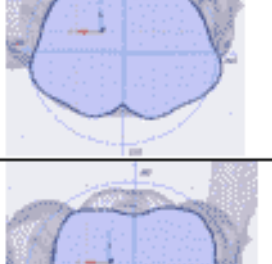
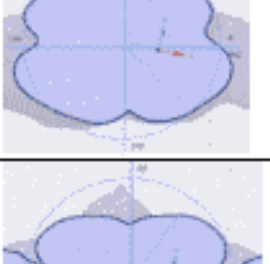
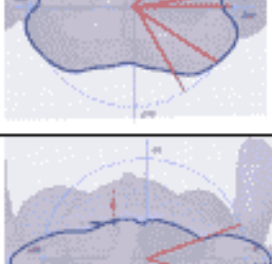
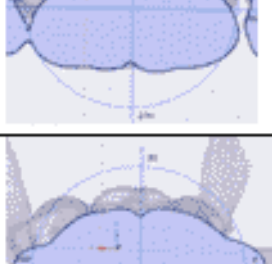
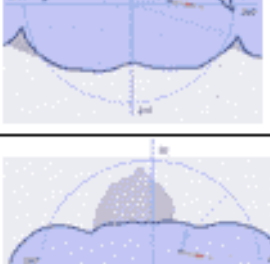
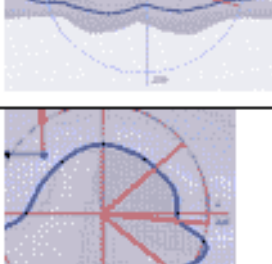
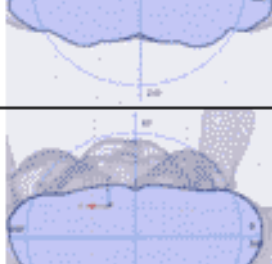
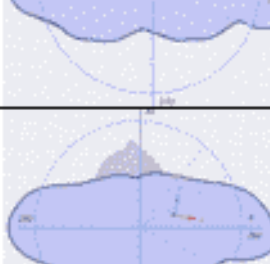
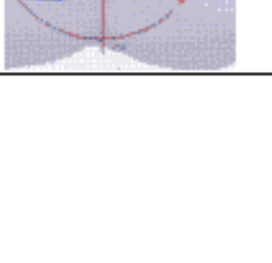
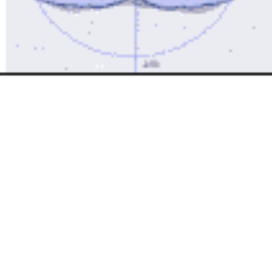
Продолжение таблицы В.3

1	L^1			
2	L^2			
3	L^3			
4	L^4			
5	L^5			
6	L^6			
7	L^7			

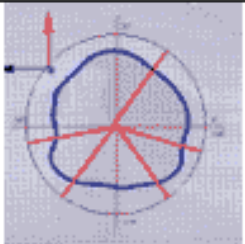
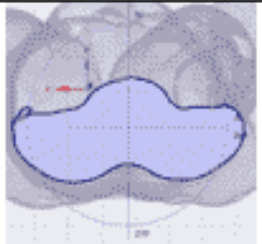
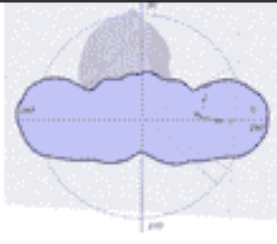
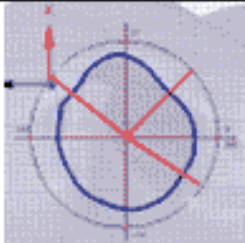
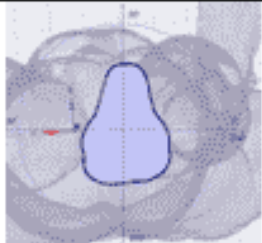
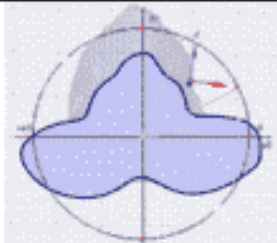
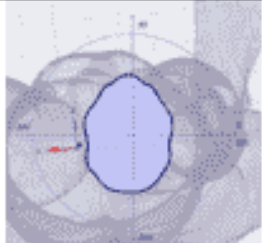
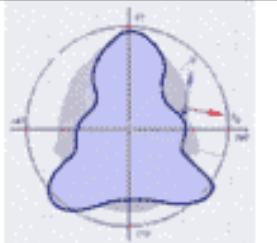
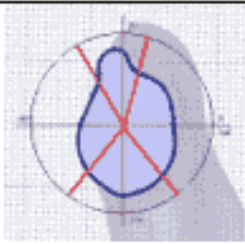
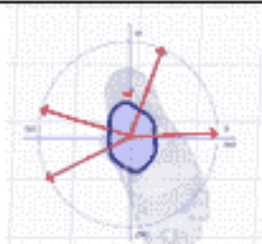
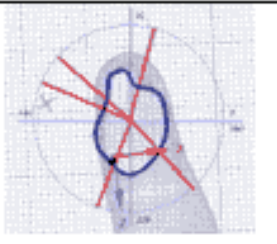
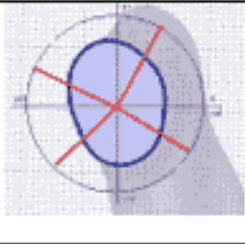
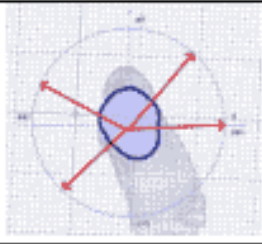
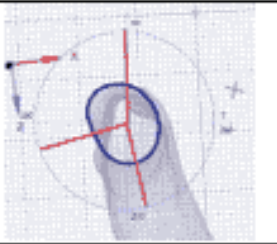
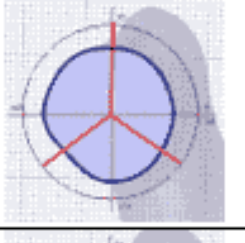
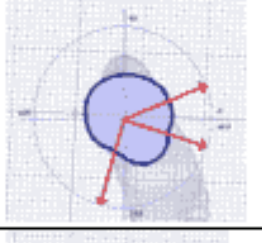
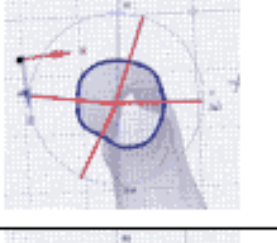
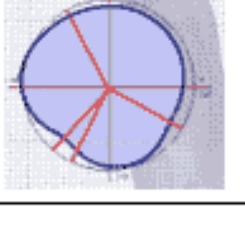
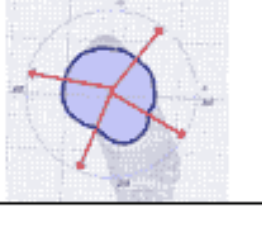
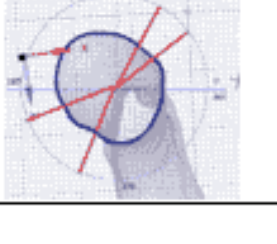
Продолжение таблицы В.3

8	L^8			
9	L^9			
10	L^{10}			
11	L^{11}			
12	L^{12}			
13	L^{13}			
14	L^{14}			

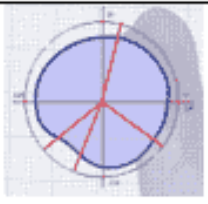
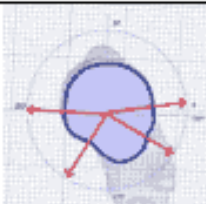
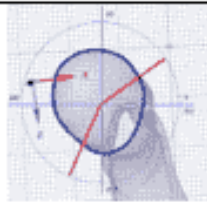
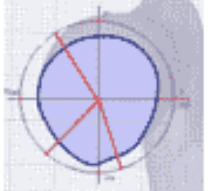
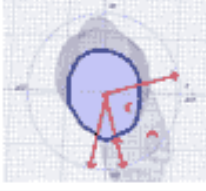
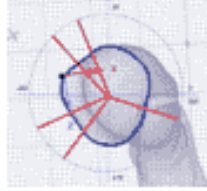
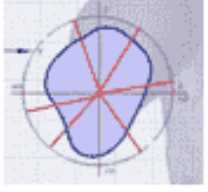
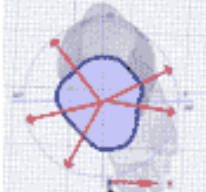
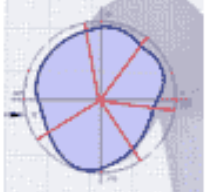
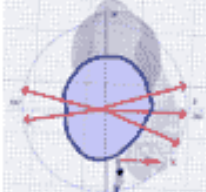
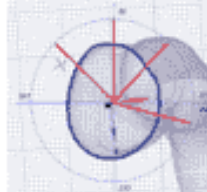
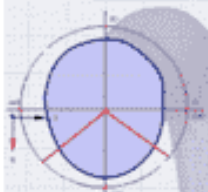
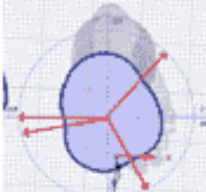
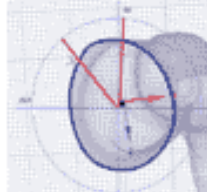
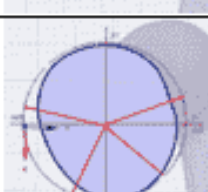
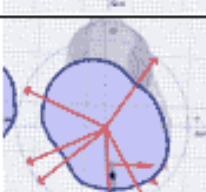
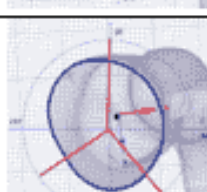
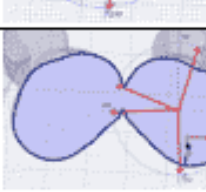
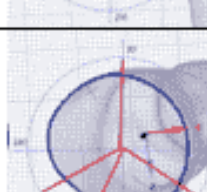
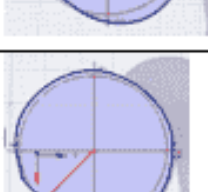
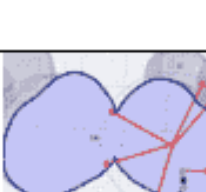
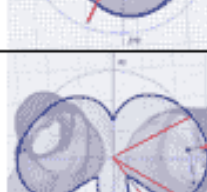
Продолжение таблицы В.3

15	L^{15}			
16	L^{16}			
17	L^{17}			
18	L^{18}			
19	L^{19}			
20	L^{20}			
21	L^{21}			

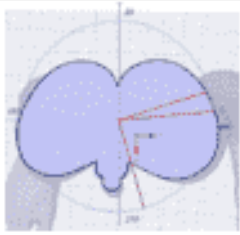
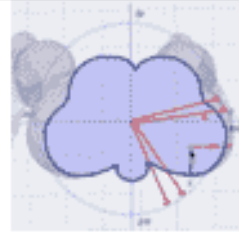
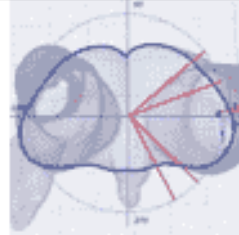
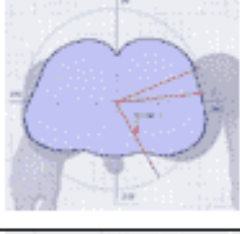
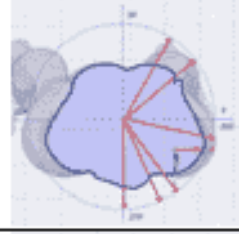
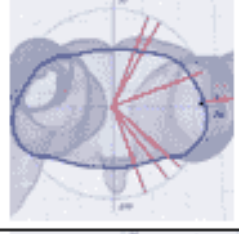
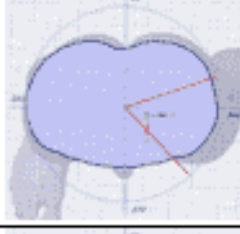
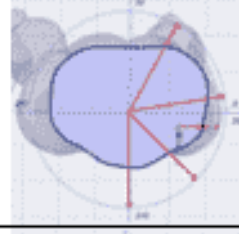
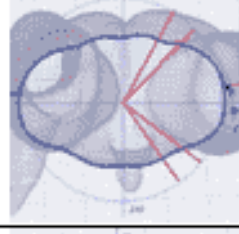
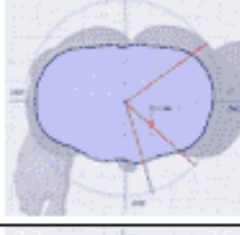
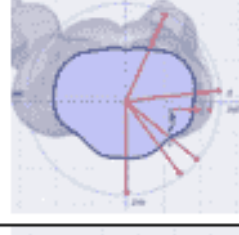
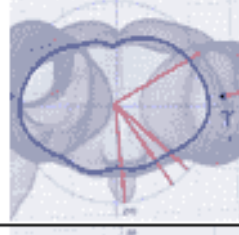
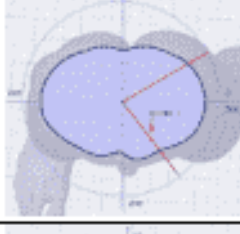
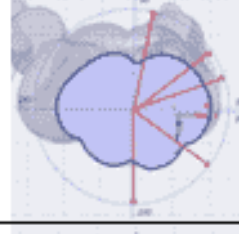
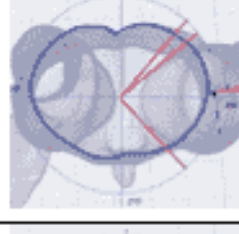
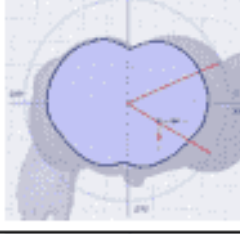
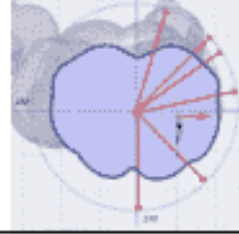
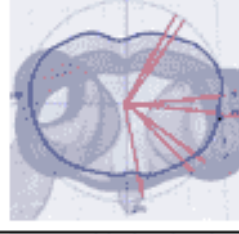
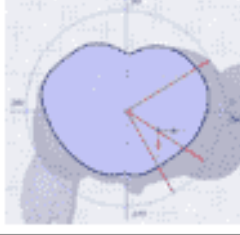
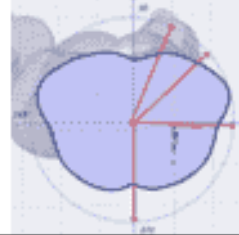
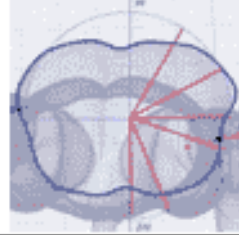
Продолжение таблицы В.3

22	L^{22}			
23	L^{23}			
24	L^{24}			
		Обозначение уровня снятия поперечного сечения		
		$A13$	$A14$	$A15$
1	L^1			
2	L^2			
3	L^3			
4	L^4			

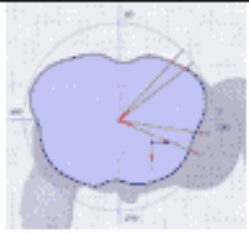
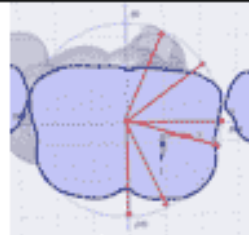
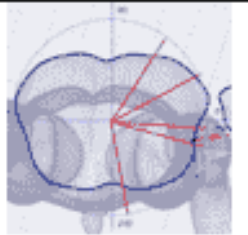
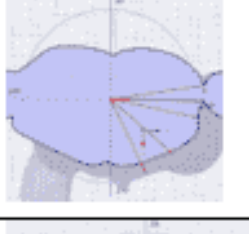
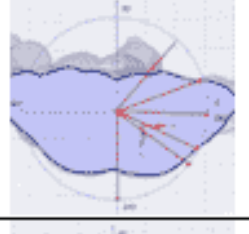
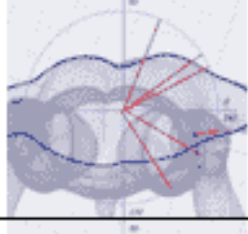
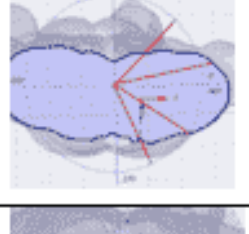
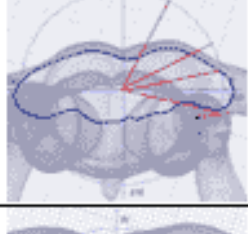
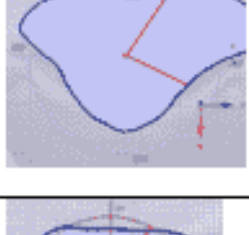
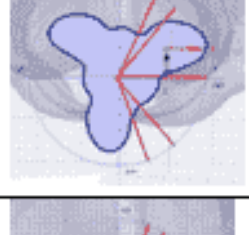
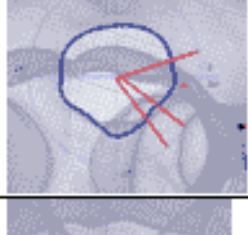
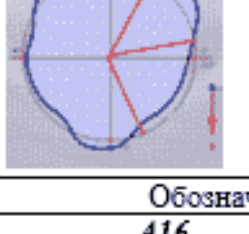
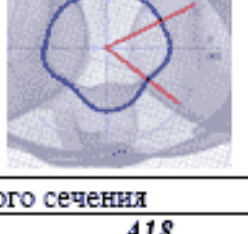
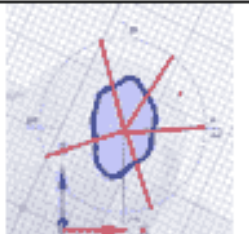
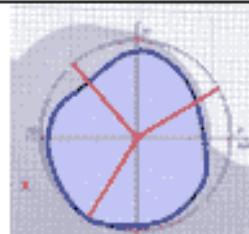
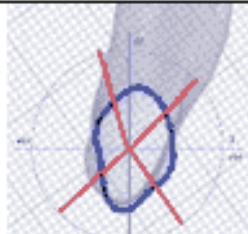
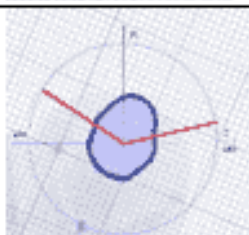
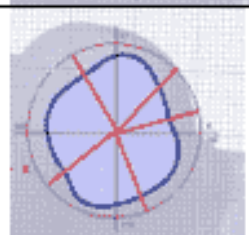
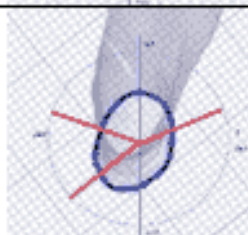
Продолжение таблицы В.3

5	L^5			
6	L^6			
7	L^7			
8	L^8			
9	L^9			
10	L^{10}			
11	L^{11}			
12	L^{12}			

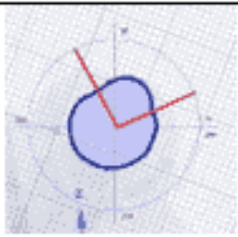
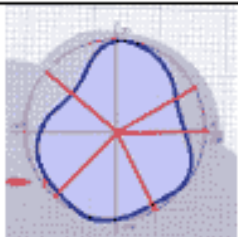
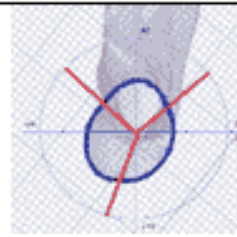
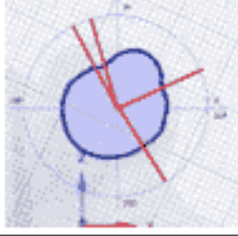
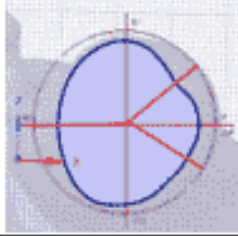
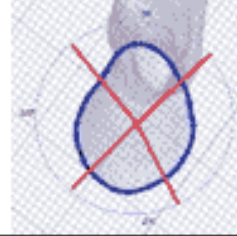
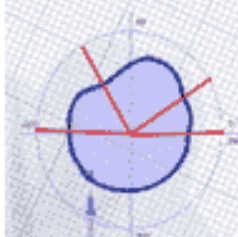
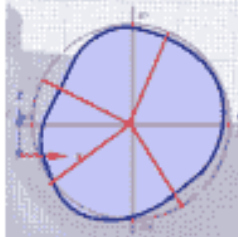
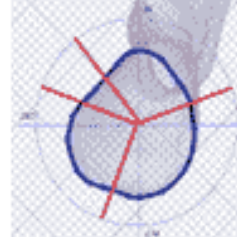
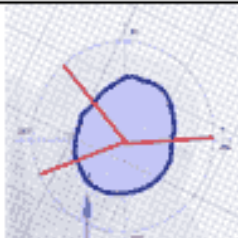
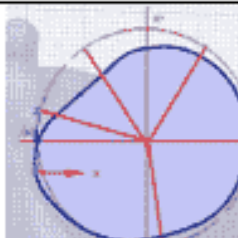
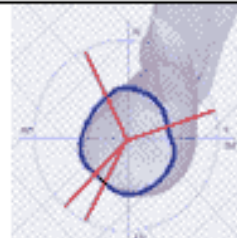
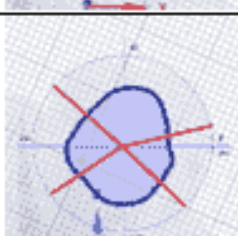
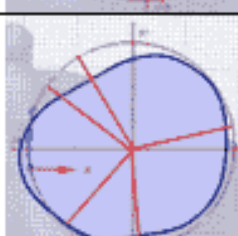
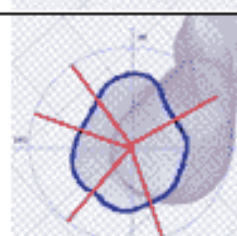
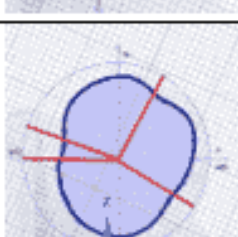
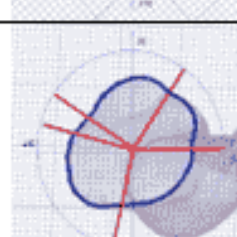
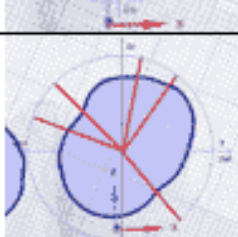
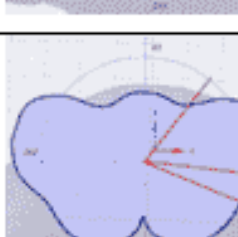
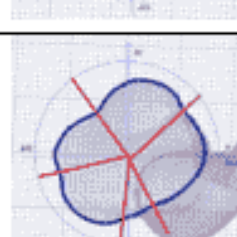
Продолжение таблицы В.3

13	L^{13}			
14	L^{14}			
15	L^{15}			
16	L^{16}			
17	L^{17}			
18	L^{18}			
19	L^{19}			

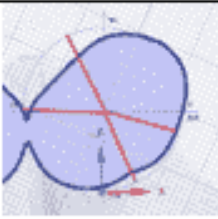
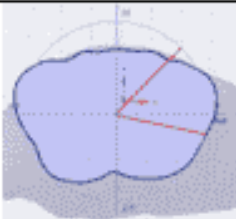
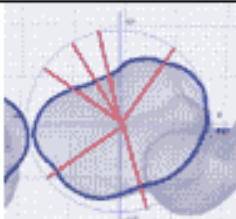
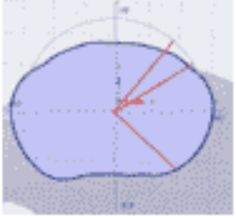
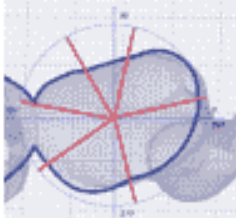
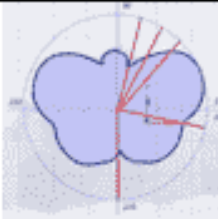
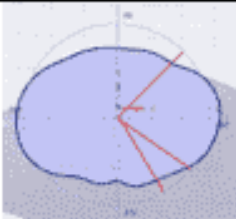
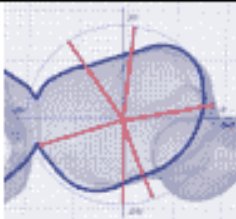
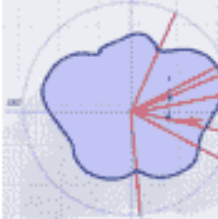
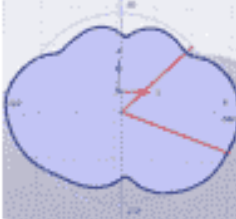
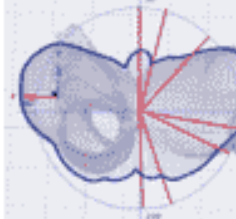
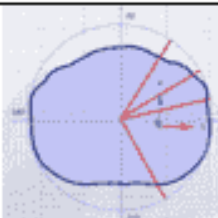
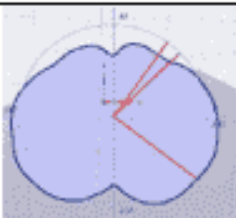
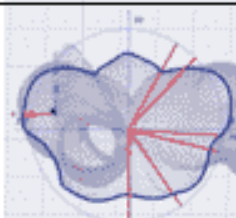
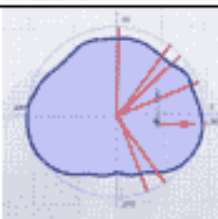
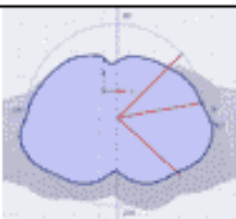
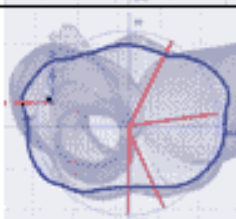
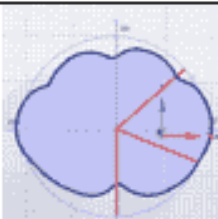
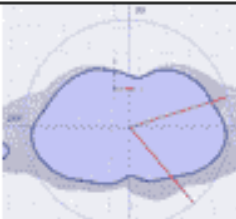
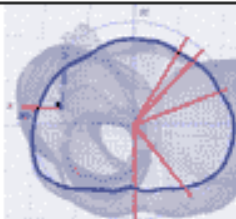
Продолжение таблицы В.3

20	L^{20}			
21	L^{21}			
22	L^{22}			
23	L^{23}			
24	L^{24}			
		Обозначение уровня снятия поперечного сечения		
		$A16$	$A17$	$A18$
1	L^1			
2	L^2			

Продолжение таблицы В.3

3	L^3			
4	L^4			
5	L^5			
6	L^6			
7	L^7			
8	L^8			
9	L^9			

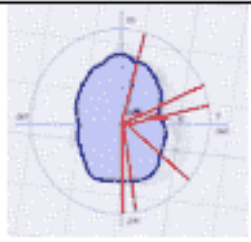
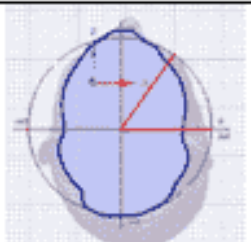
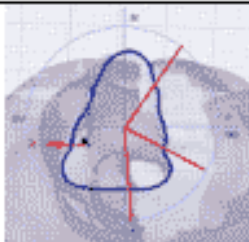
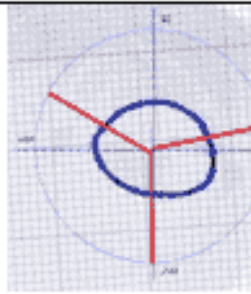
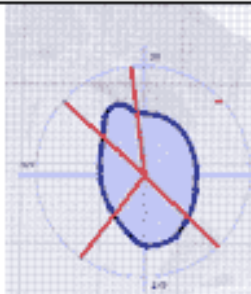
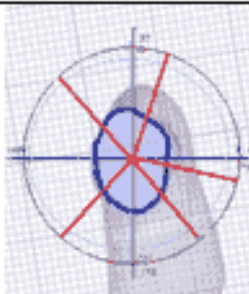
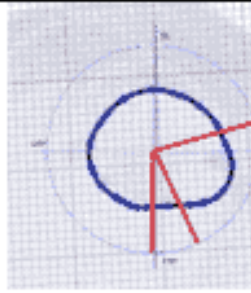
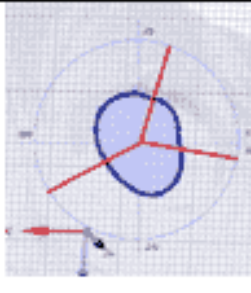
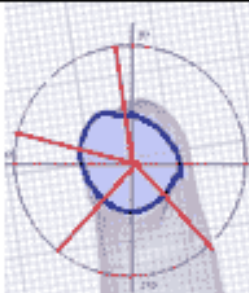
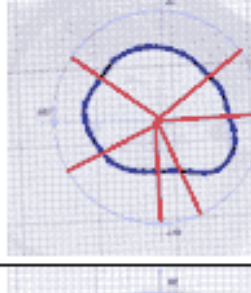
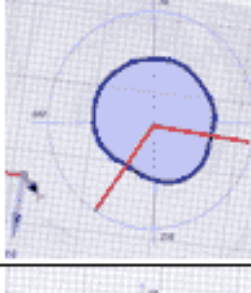
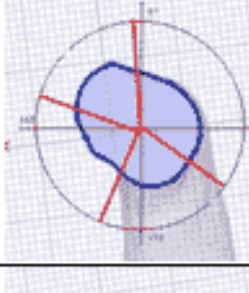
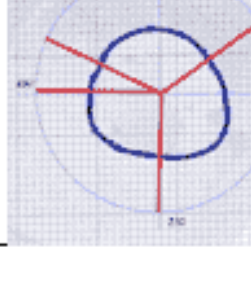
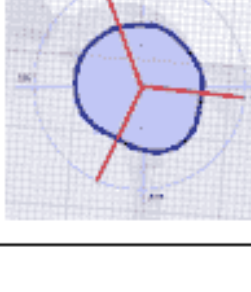
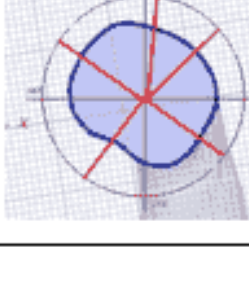
Продолжение таблицы В.3

10	L^{10}			
11	L^{11}			
12	L^{12}			
13	L^{13}			
14	L^{14}			
15	L^{15}			
16	L^{16}			

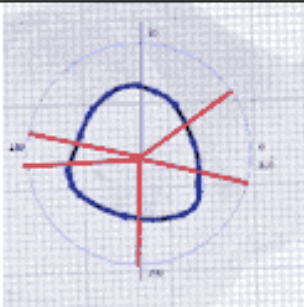
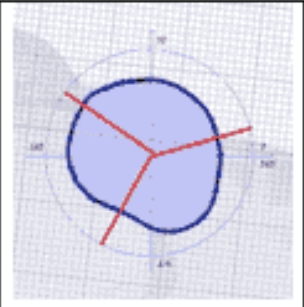
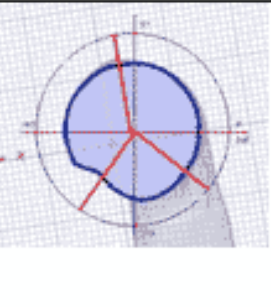
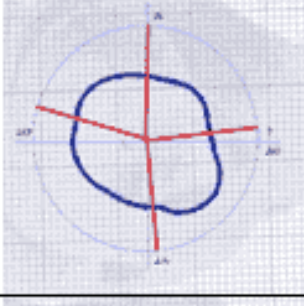
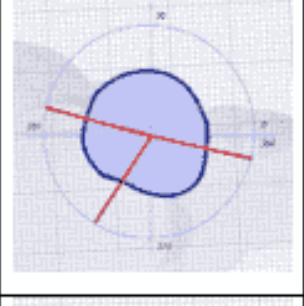
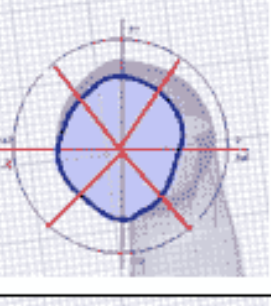
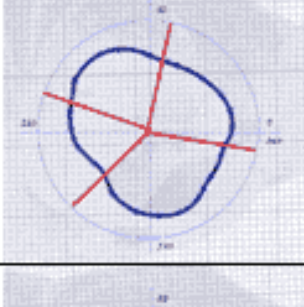
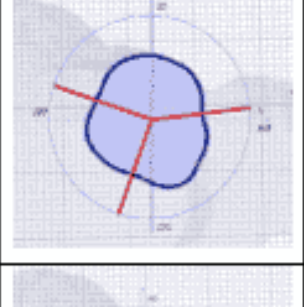
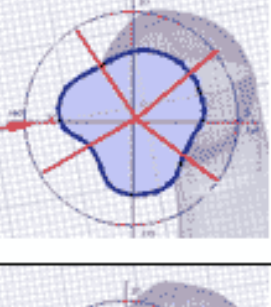
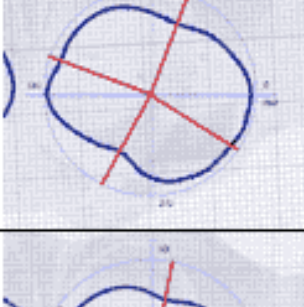
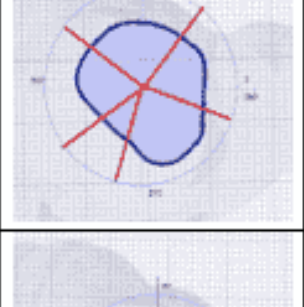
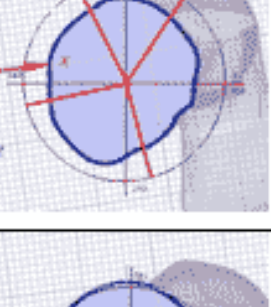
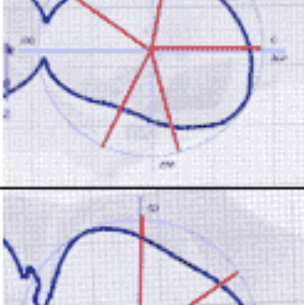
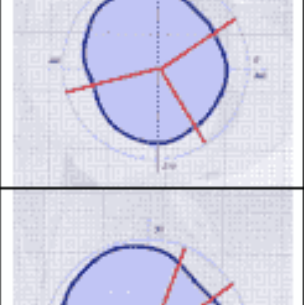
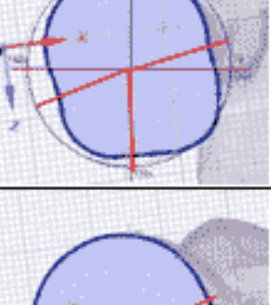
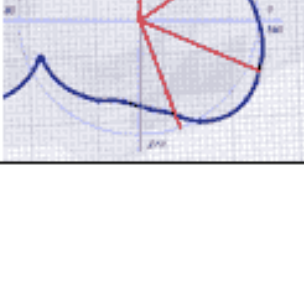
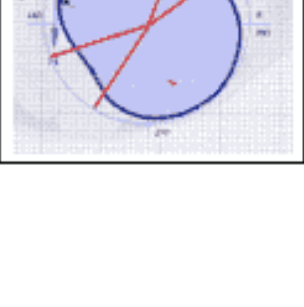
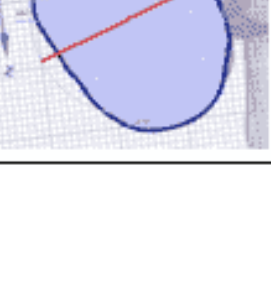
Продолжение таблицы В.3

17	L^{17}			
18	L^{18}			
19	L^{19}			
20	L^{20}			
21	L^{21}			
22	L^{22}			
23	L^{23}			

Продолжение таблицы В.3

24	L^{24}			
		Обозначение уровня снятия поперечного сечения		
		A19	A20	A21
1	L^1			
2	L^2			
3	L^3			
4	L^4			

Продолжение таблицы В.3

5	L^5			
6	L^6			
7	L^7			
8	L^8			
9	L^9			
10	L^{10}			

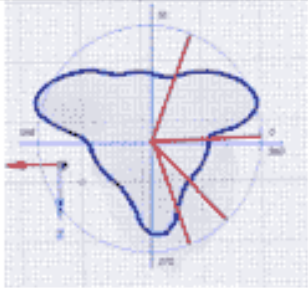
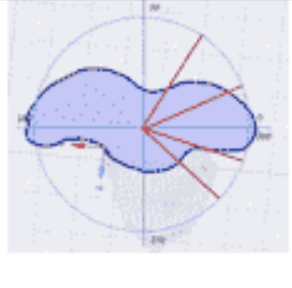
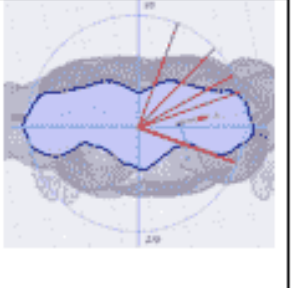
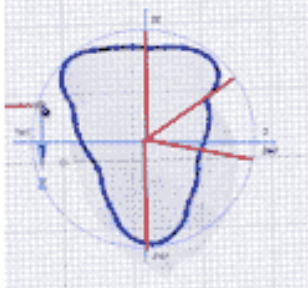
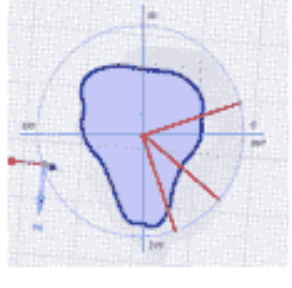
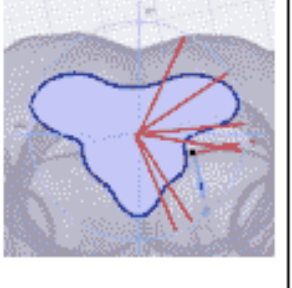
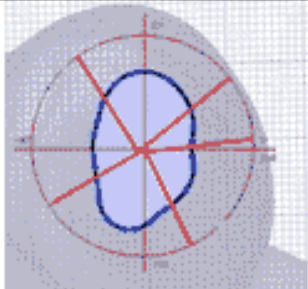
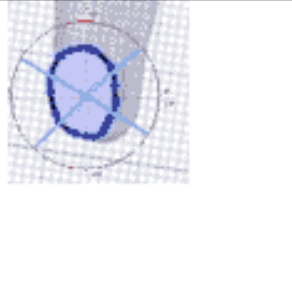
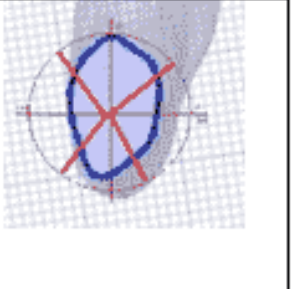
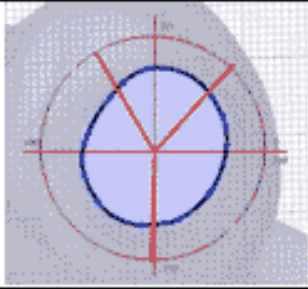
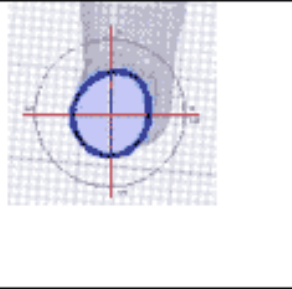
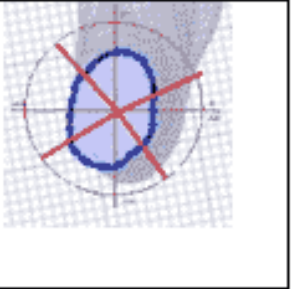
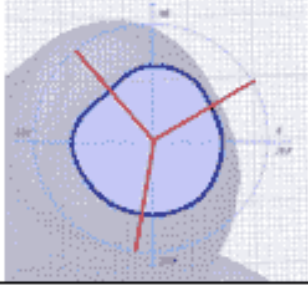
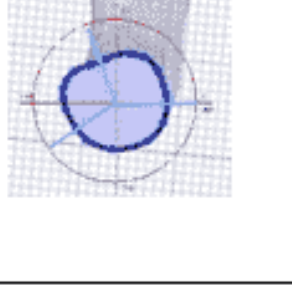
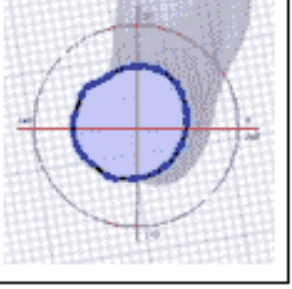
Продолжение таблицы В.3

11	L^{11}			
12	L^{12}			
13	L^{13}			
14	L^{14}			
15	L^{15}			
16	L^{16}			

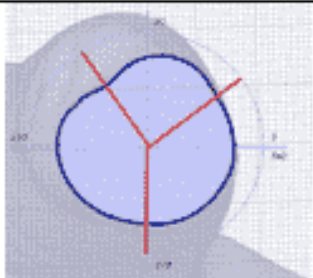
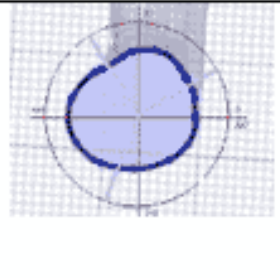
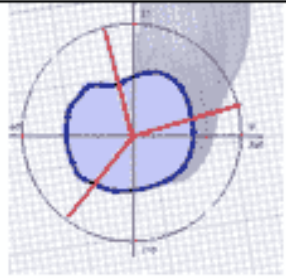
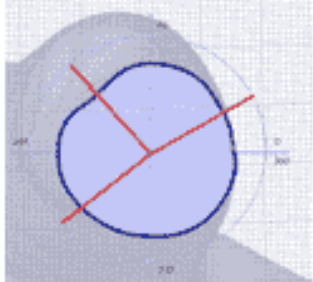
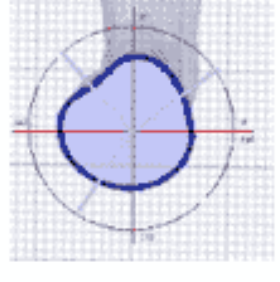
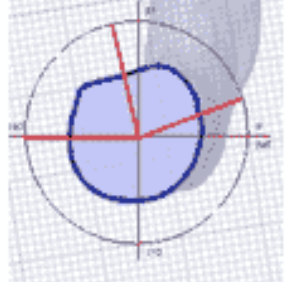
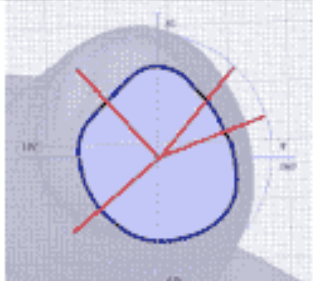
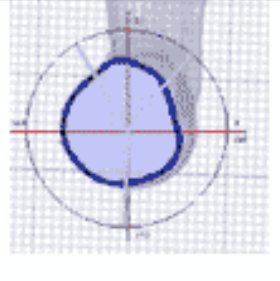
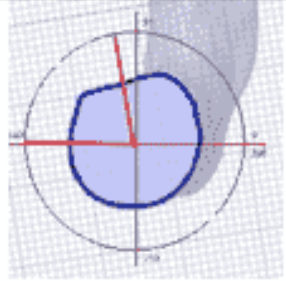
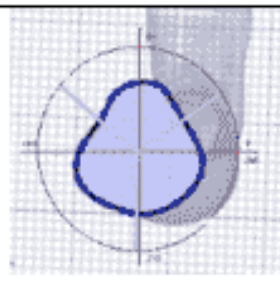
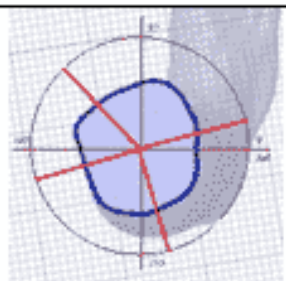
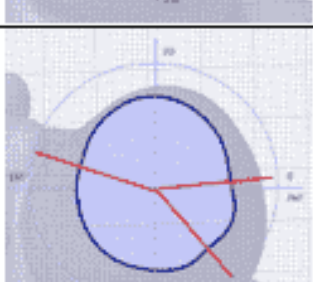
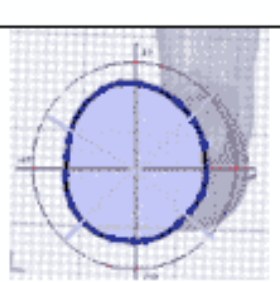
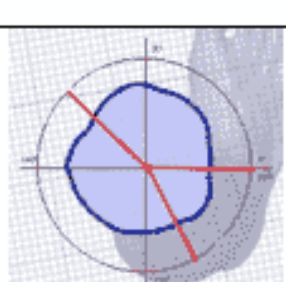
Продолжение таблицы В.3

17	L^{17}			
18	L^{18}			
19	L^{19}			
20	L^{20}			
21	L^{21}			
22	L^{22}			

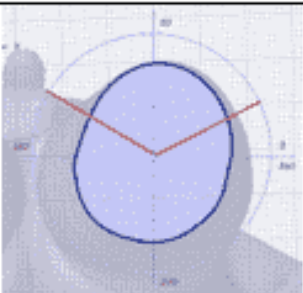
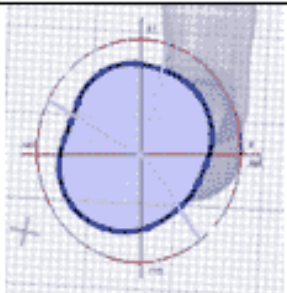
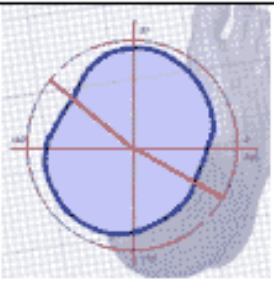
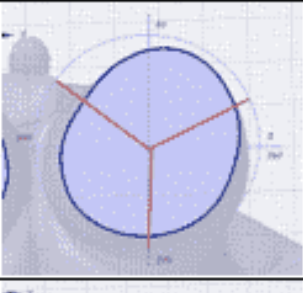
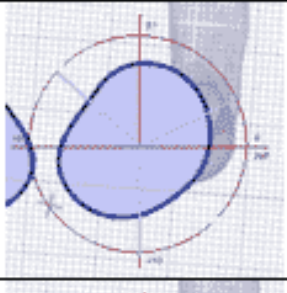
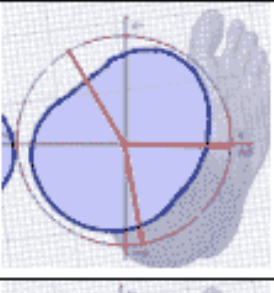
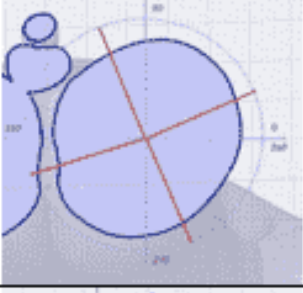
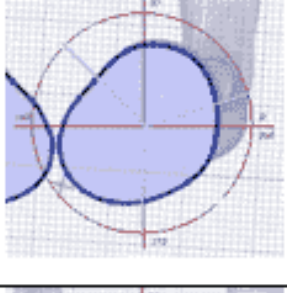
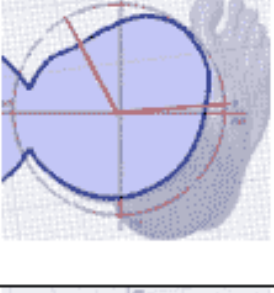
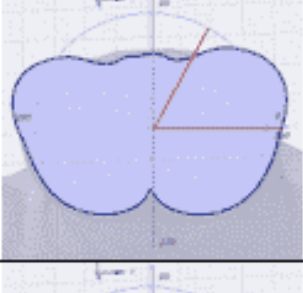
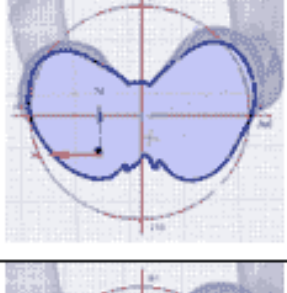
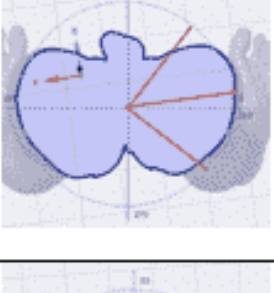
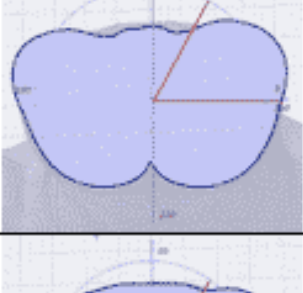
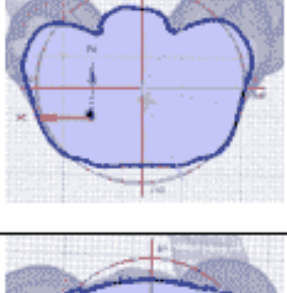
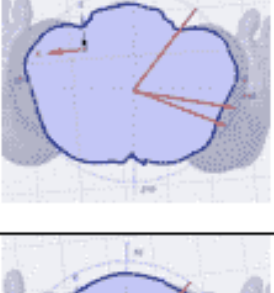
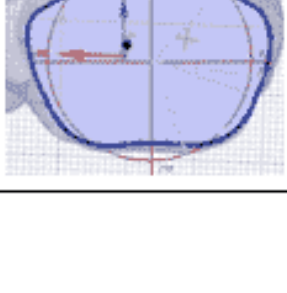
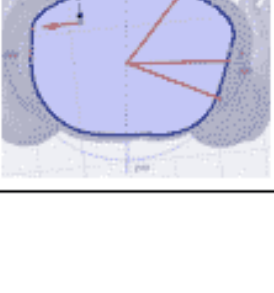
Продолжение таблицы В.3

23	L^{23}			
24	L^{24}			
		Обозначение уровня снятия поперечного сечения		
		$A22$	$A23$	$A24$
1	L^1			
2	L^2			
3	L^3			

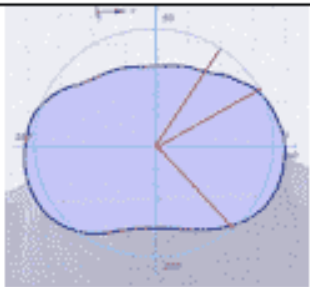
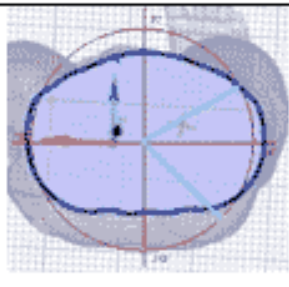
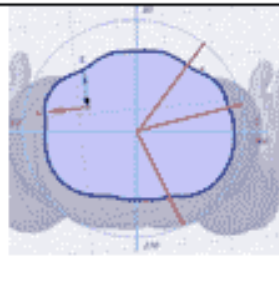
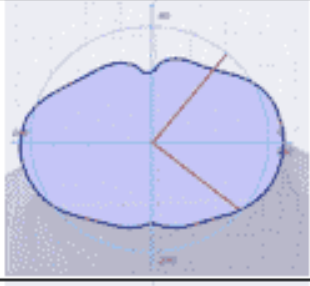
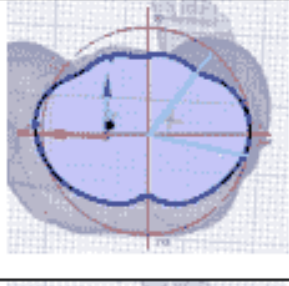
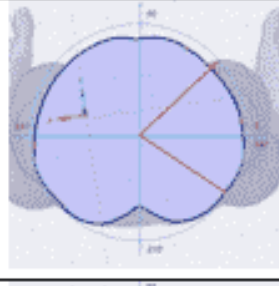
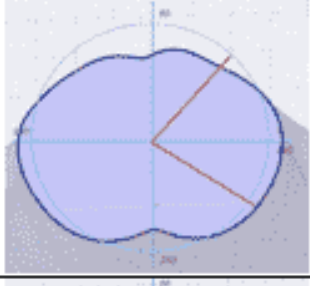
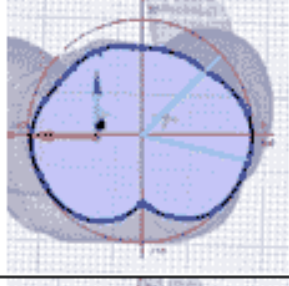
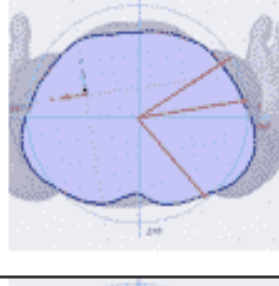
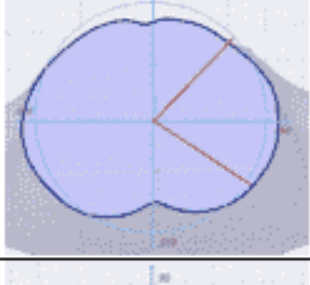
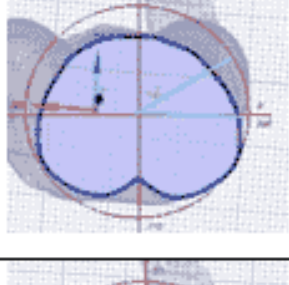
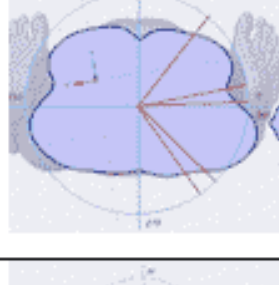
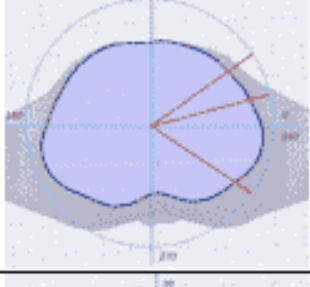
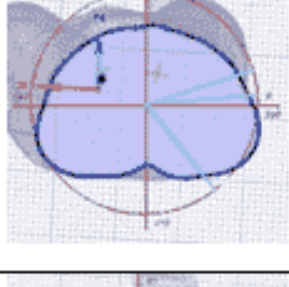
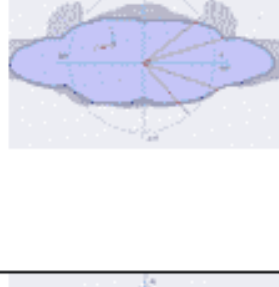
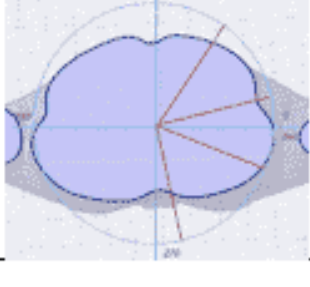
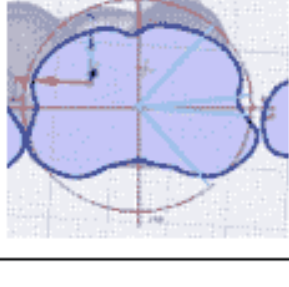
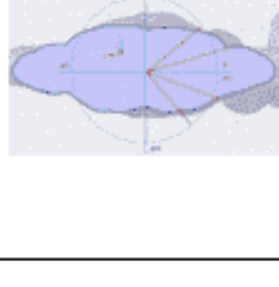
Продолжение таблицы В.3

4	L^4			
5	L^5			
6	L^6			
7	L^7			
8	L^8			

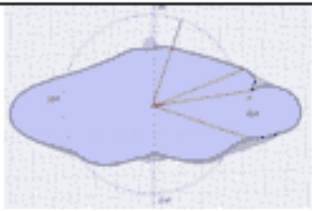
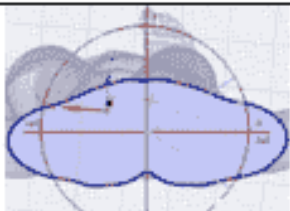
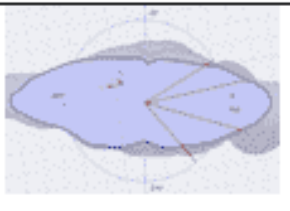
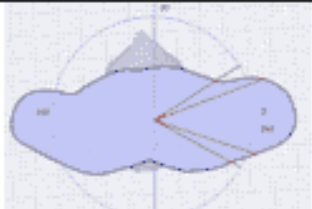
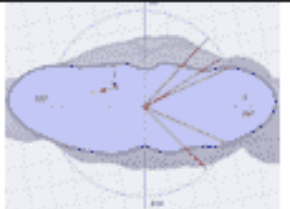
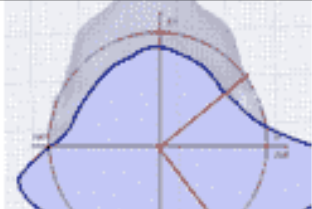
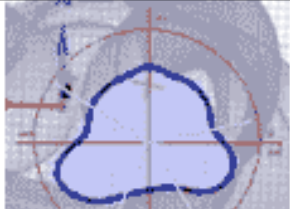
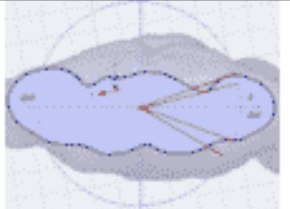
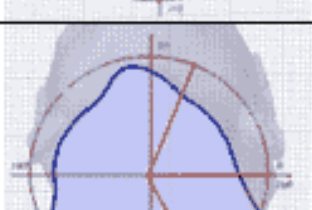
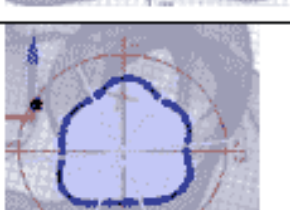
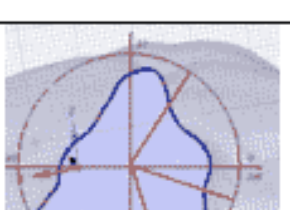
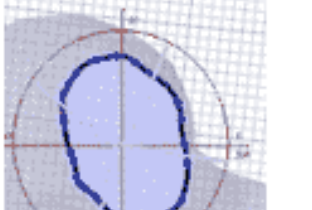
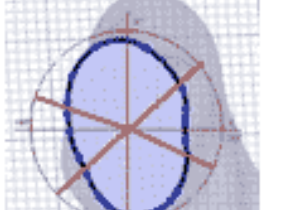
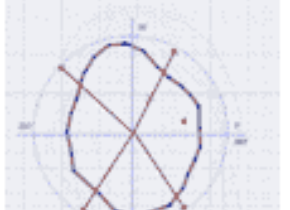
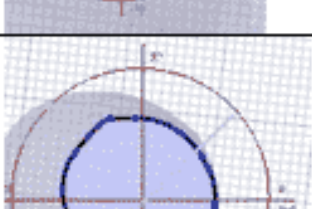
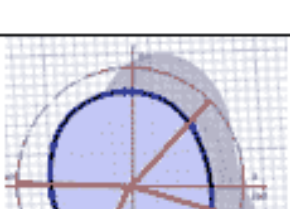
Продолжение таблицы В.3

9	L^9			
10	L^{10}			
11	L^{11}			
12	L^{12}			
13	L^{13}			
14	L^{14}			

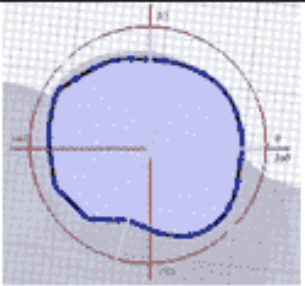
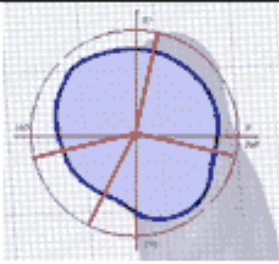
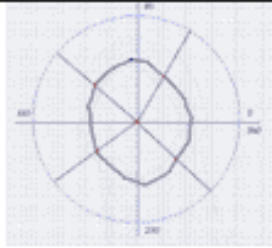
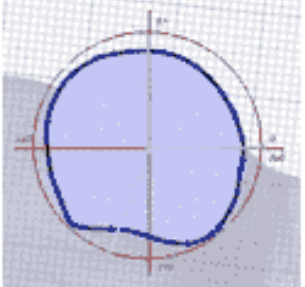
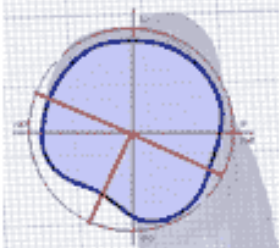
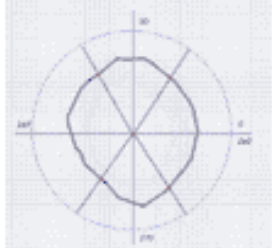
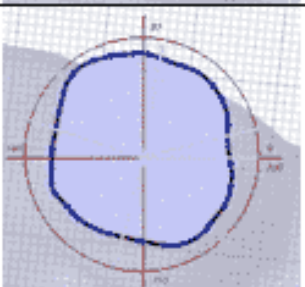
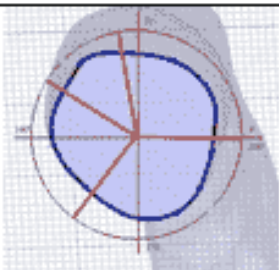
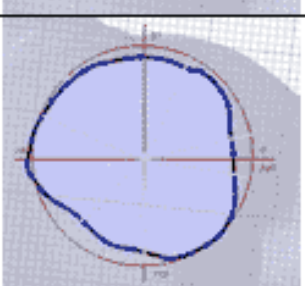
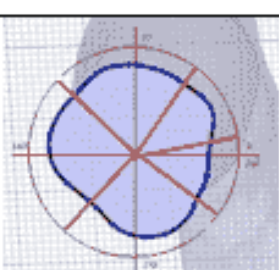
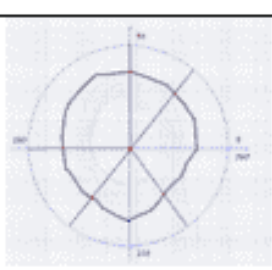
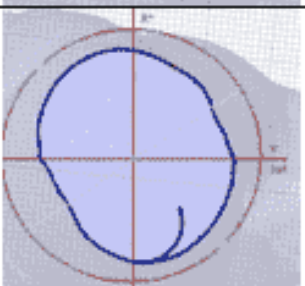
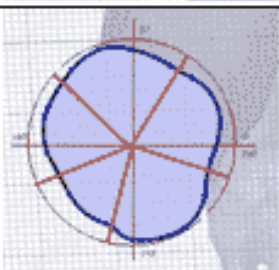
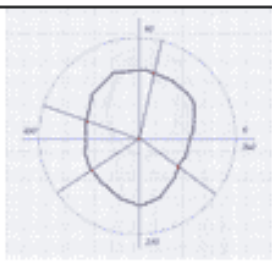
Продолжение таблицы В.3

15	L^{15}			
16	L^{16}			
17	L^{17}			
18	L^{18}			
19	L^{19}			
20	L^{20}			

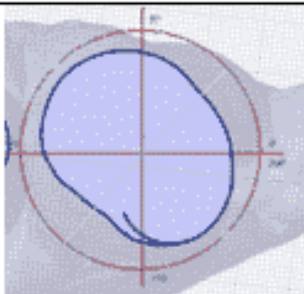
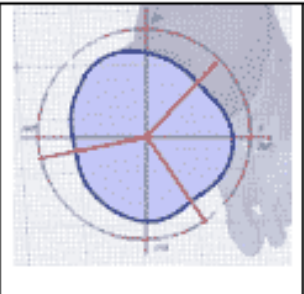
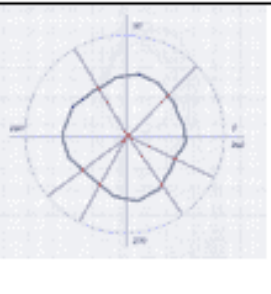
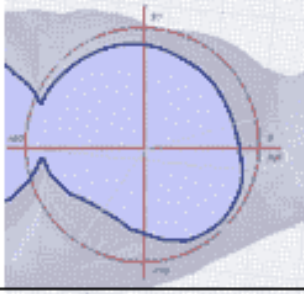
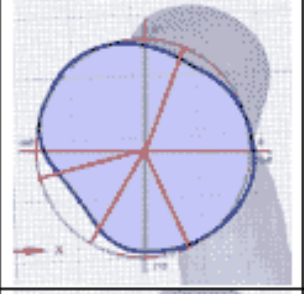
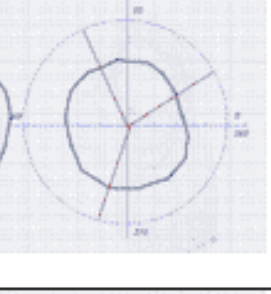
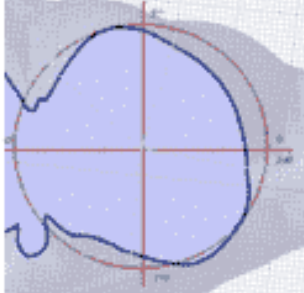
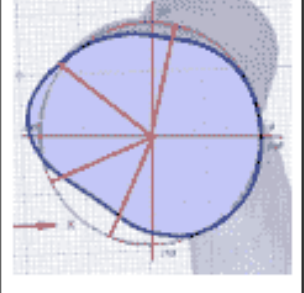
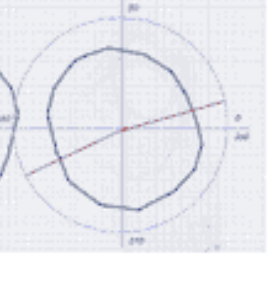
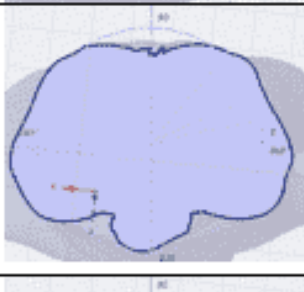
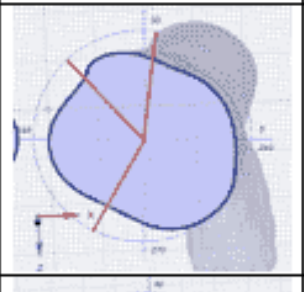
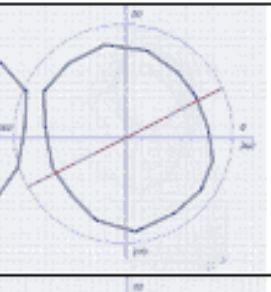
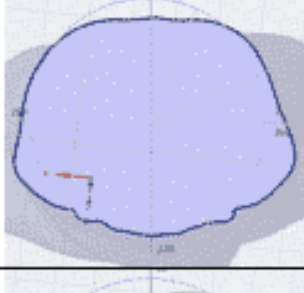
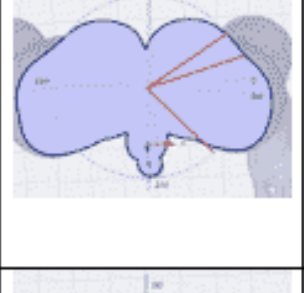
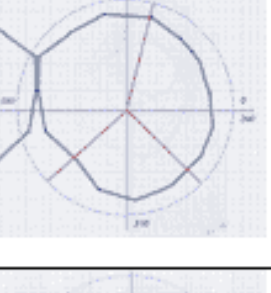
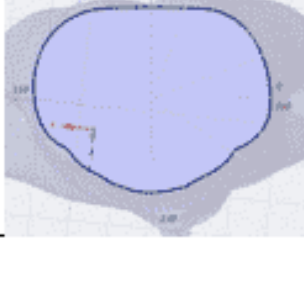
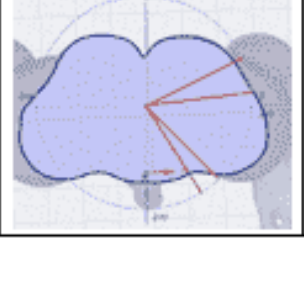
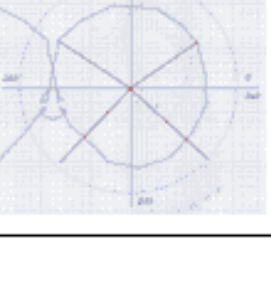
Продолжение таблицы В.3

21	L^{21}			
22	L^{22}			
23	L^{23}			
24	L^{24}			
		Обозначение уровня снятия поперечного сечения		
		A25	A26	A27
1	L^1			
2	L^2			

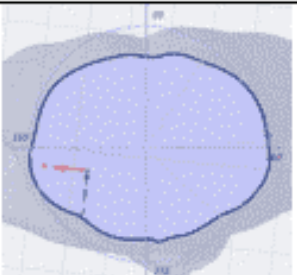
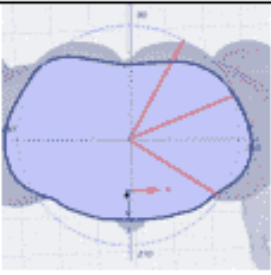
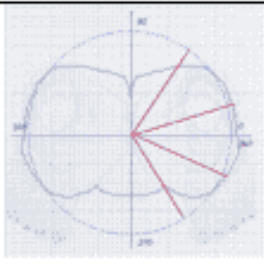
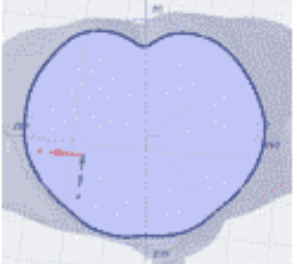
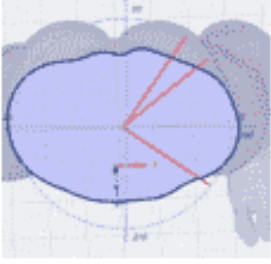
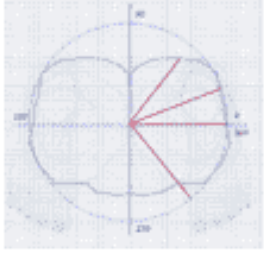
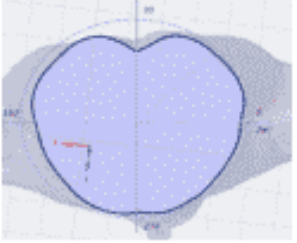
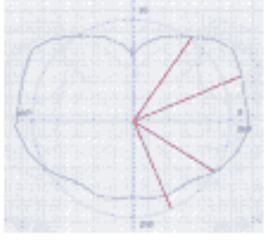
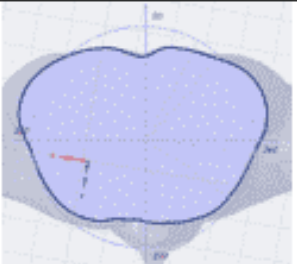
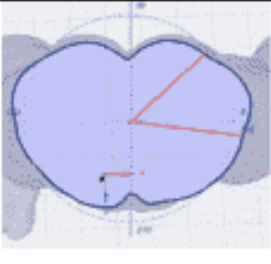
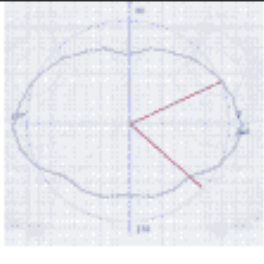
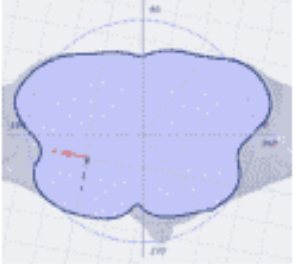
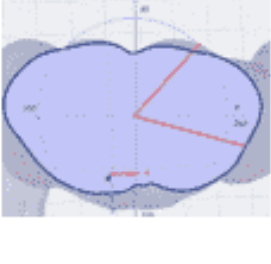
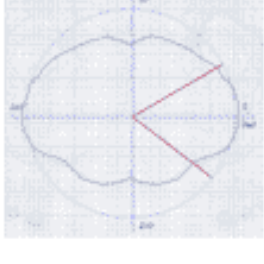
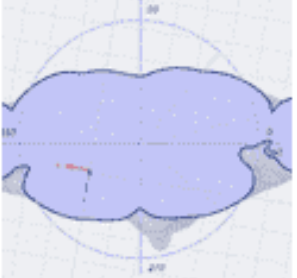
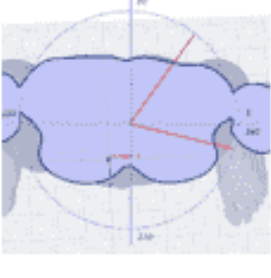
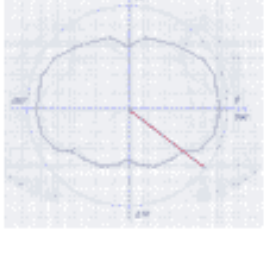
Продолжение таблицы В.3

3	L^3			
4	L^4			
5	L^5			
6	L^6			
7	L^7			

Продолжение таблицы В.3

8	L^8			
9	L^9			
10	L^{10}			
11	L^{11}			
12	L^{12}			
13	L^{13}			

Продолжение таблицы В.3

14	L^{14}			
15	L^{15}			
16	L^{16}			
17	L^{17}			
18	L^{18}			
19	L^{19}			

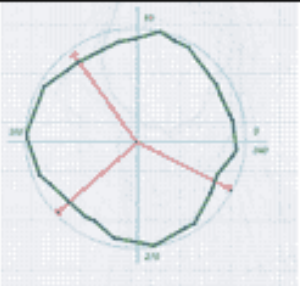
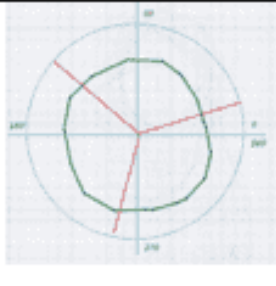
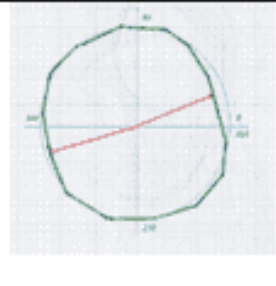
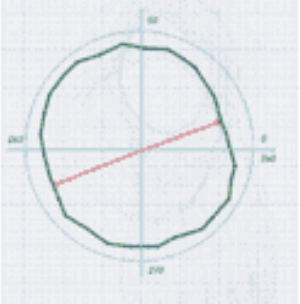
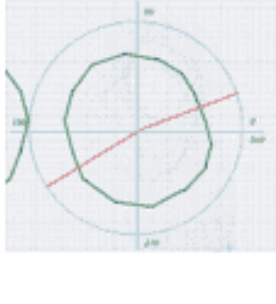
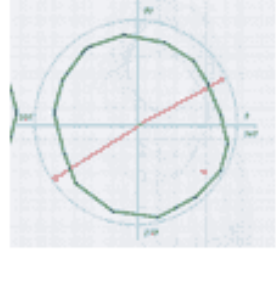
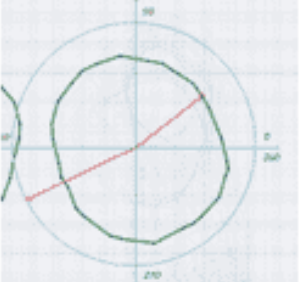
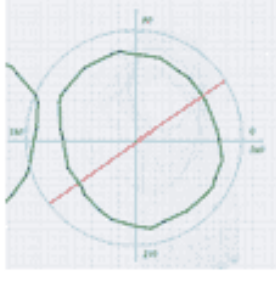
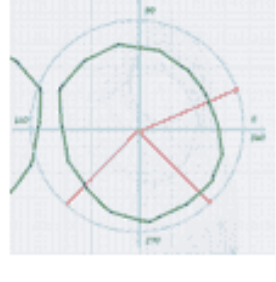
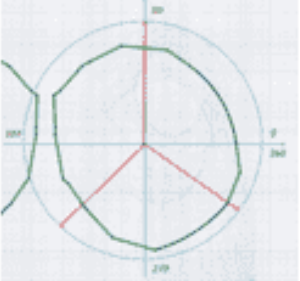
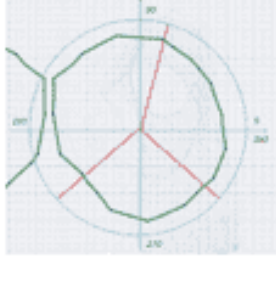
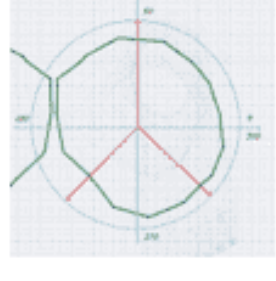
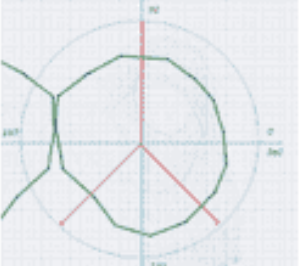
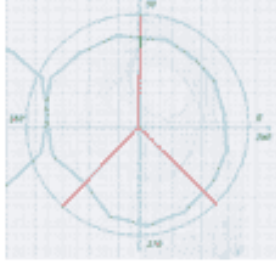
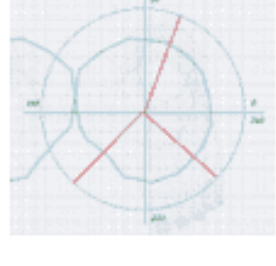
Продолжение таблицы В.3

20	L^{20}			
21	L^{21}			
22	L^{22}			
23	L^{23}			
24	L^{24}			
		Обозначение уровня снятия поперечного сечения		
		$A28$	$A29$	$A30$
1	L^1			

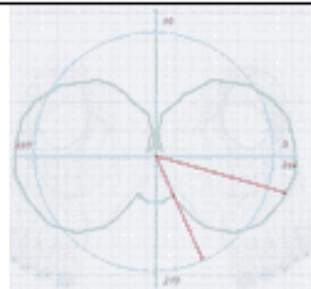
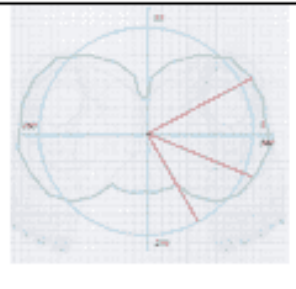
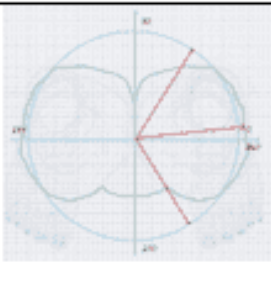
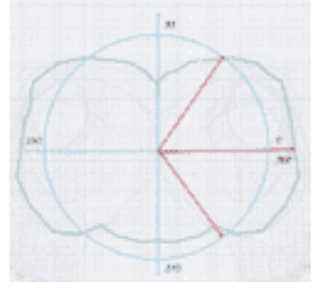
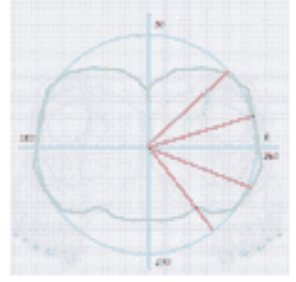
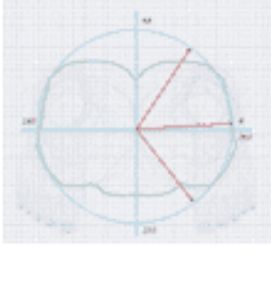
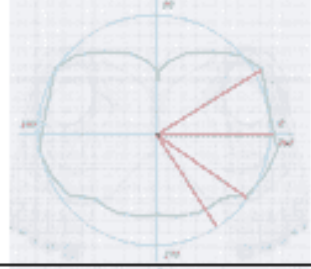
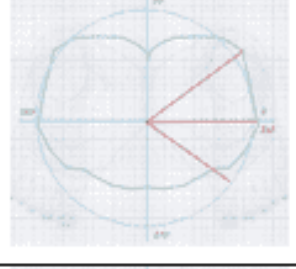
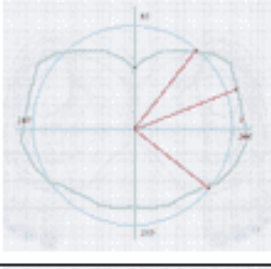
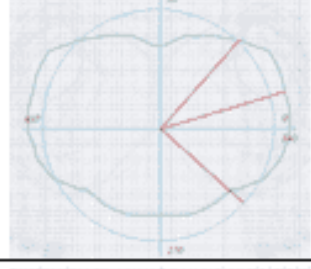
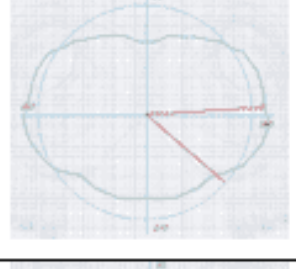
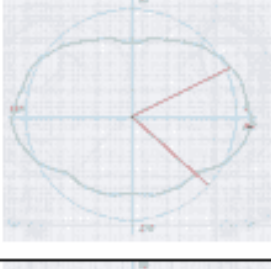
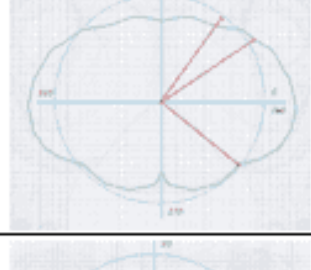
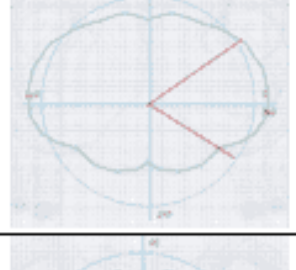
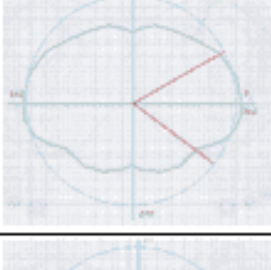
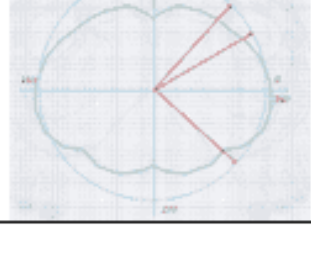
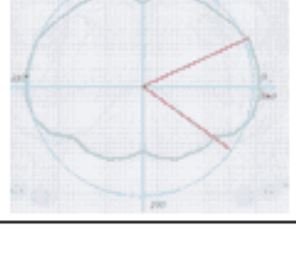
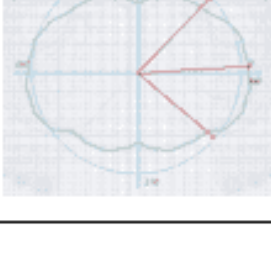
Продолжение таблицы В.3

2	L^2			
3	L^2			
4	L^4			
5	L^5			
6	L^6			
7	L^7			

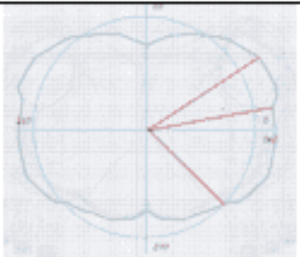
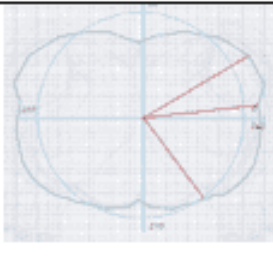
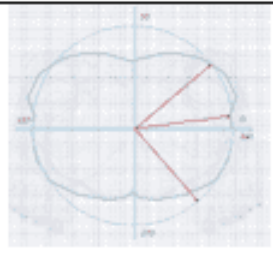
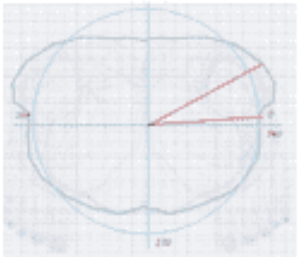
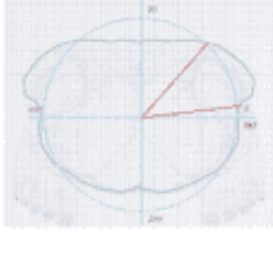
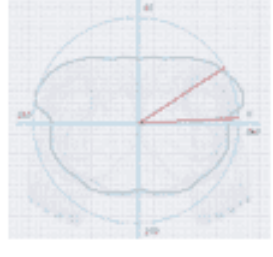
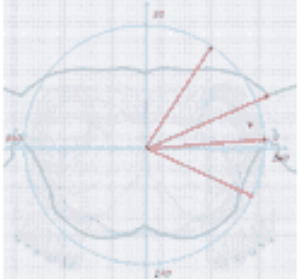
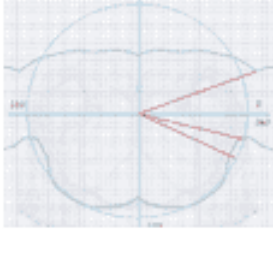
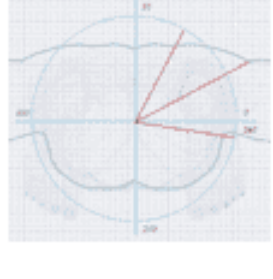
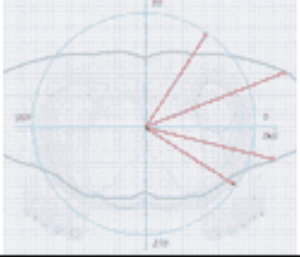
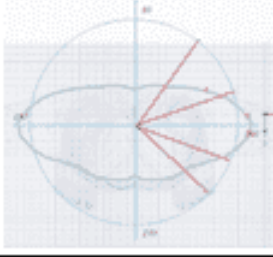
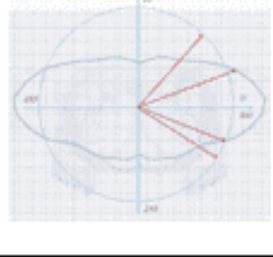
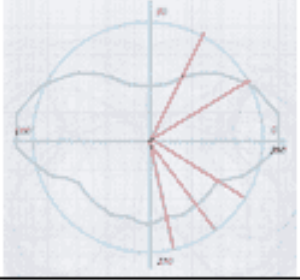
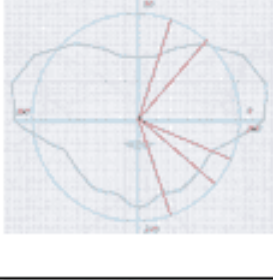
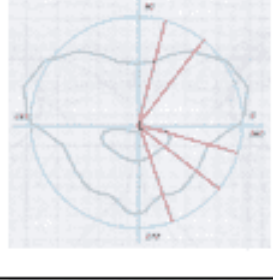
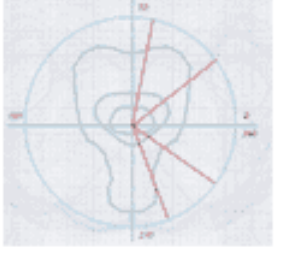
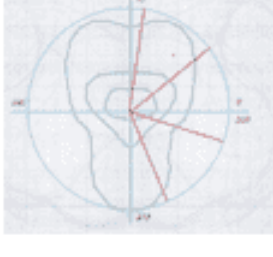
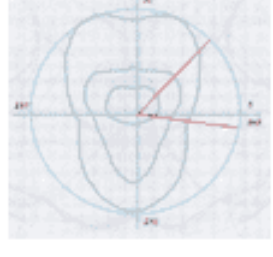
Продолжение таблицы В.3

8	L^8			
9	L^9			
10	L^{10}			
11	L^{11}			
12	L^{12}			

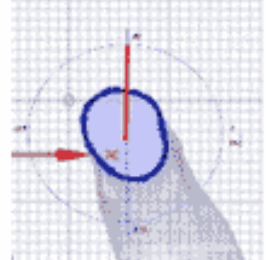
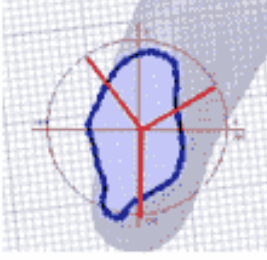
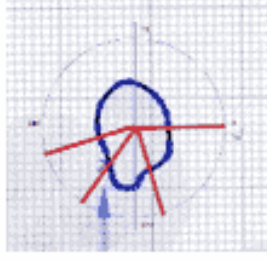
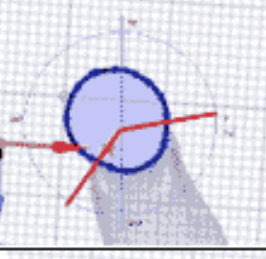
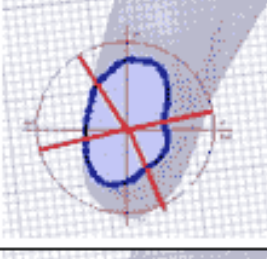
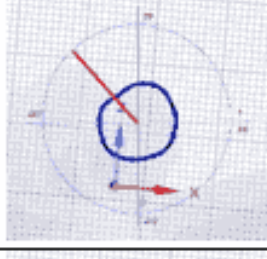
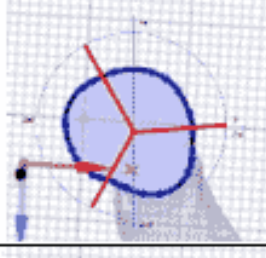
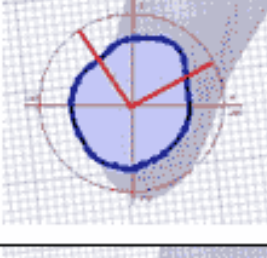
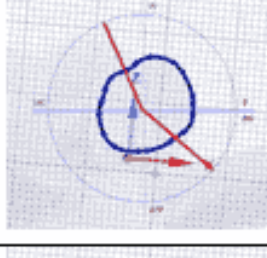
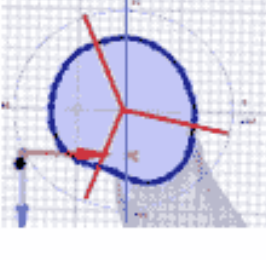
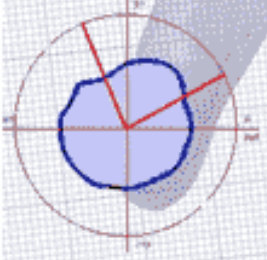
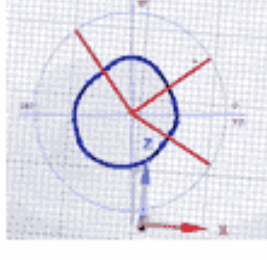
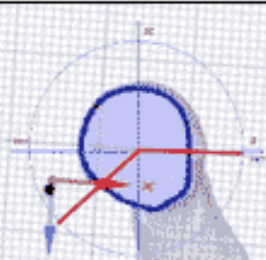
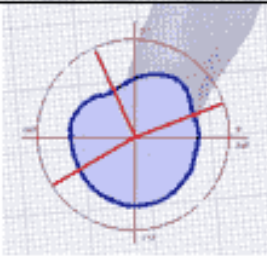
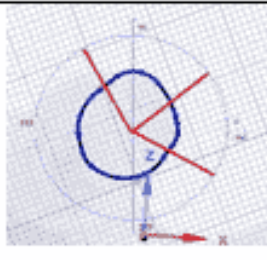
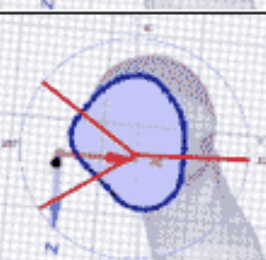
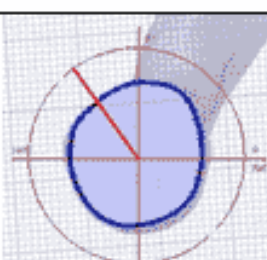
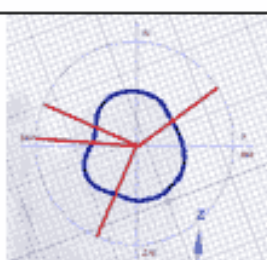
Продолжение таблицы В.3

13	L^{13}			
14	L^{14}			
15	L^{15}			
16	L^{16}			
17	L^{17}			
18	L^{18}			

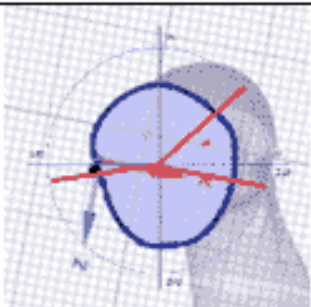
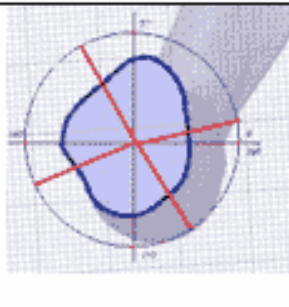
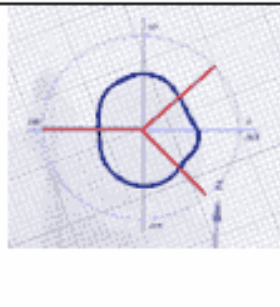
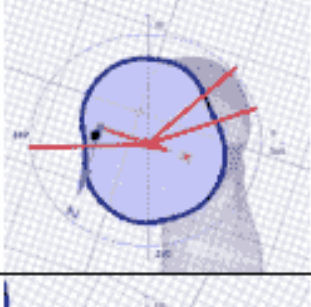
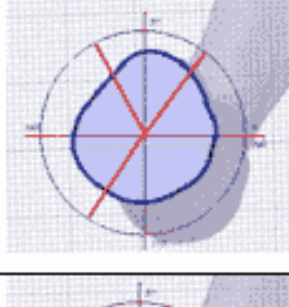
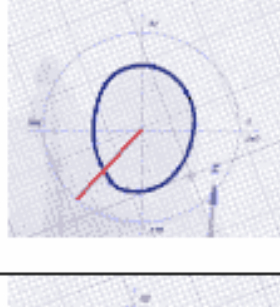
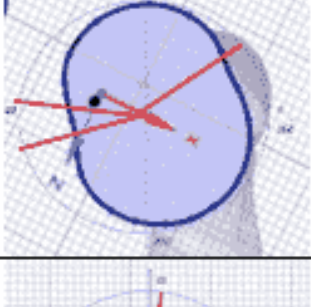
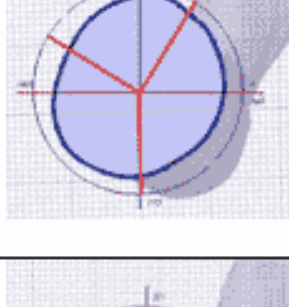
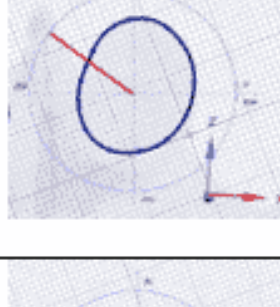
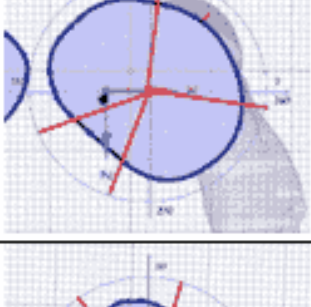
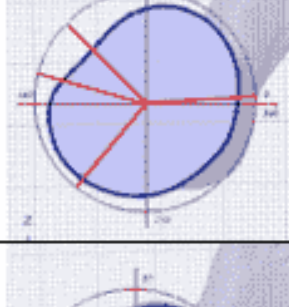
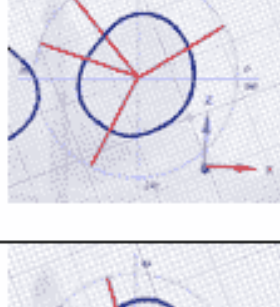
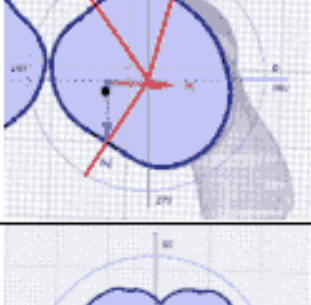
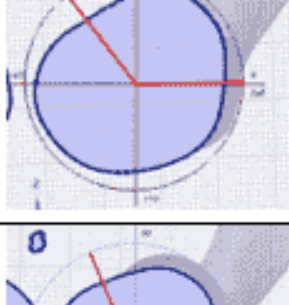
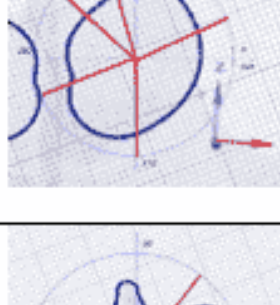
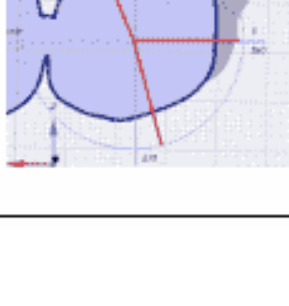
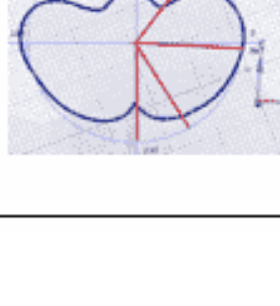
Продолжение таблицы В.3

19	L^{19}			
20	L^{20}			
21	L^{21}			
22	L^{22}			
23	L^{23}			
24	L^{24}			
Обозначение уровня снятия поперечного сечения				

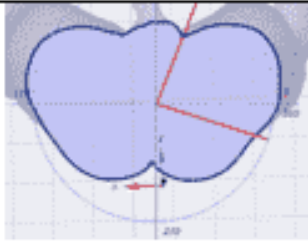
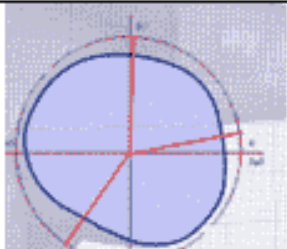
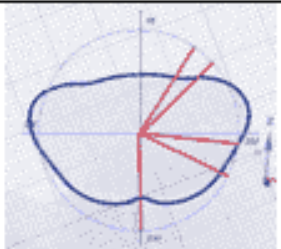
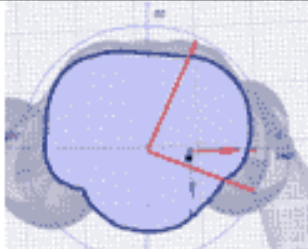
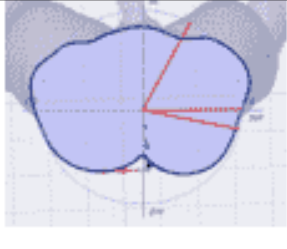
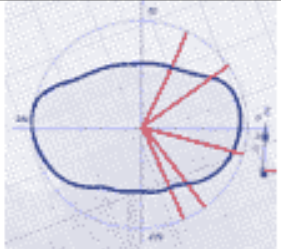
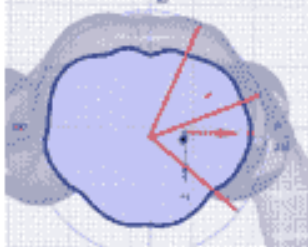
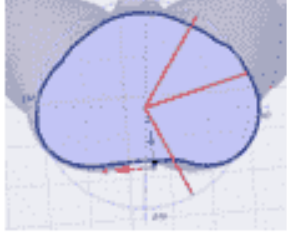
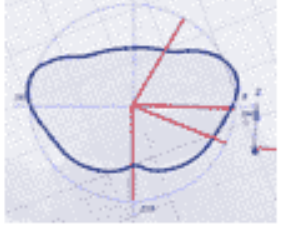
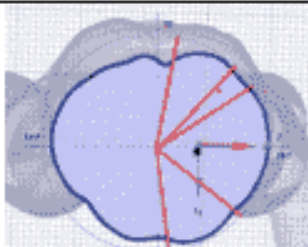
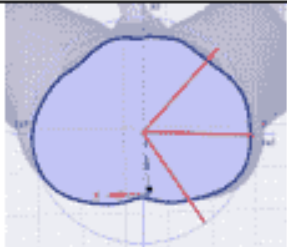
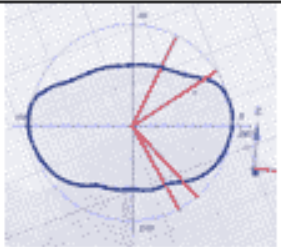
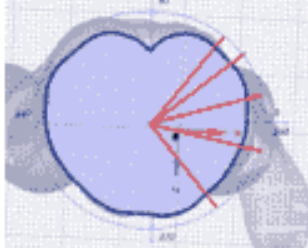
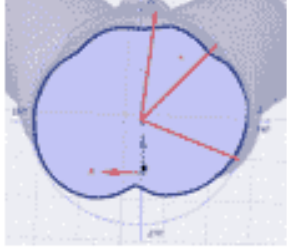
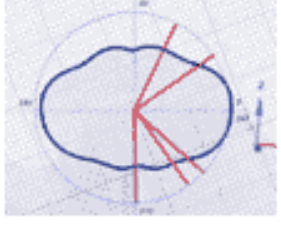
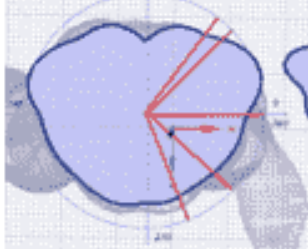
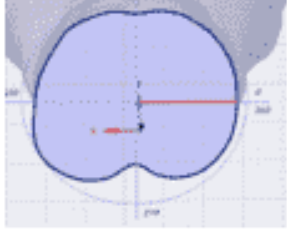
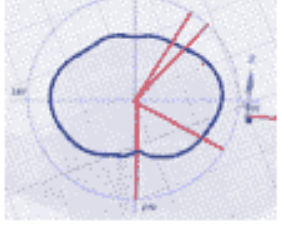
Продолжение таблицы В.3

		<i>A31</i>	<i>A32</i>	<i>A33</i>
1	L^1			
2	L^2			
3	L^3			
4	L^4			
5	L^5			
6	L^6			

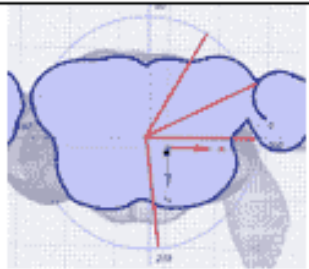
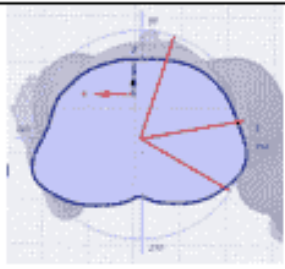
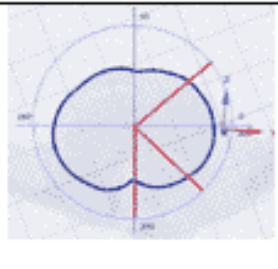
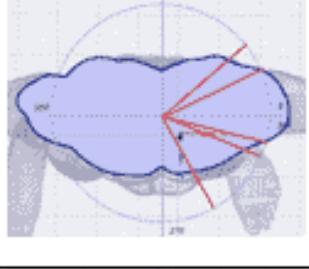
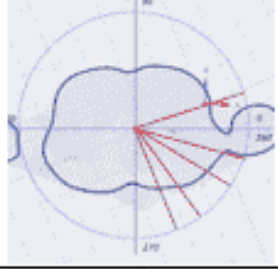
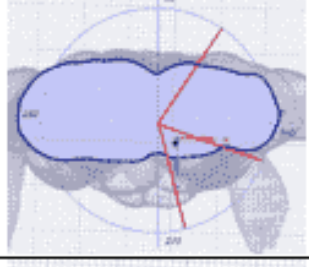
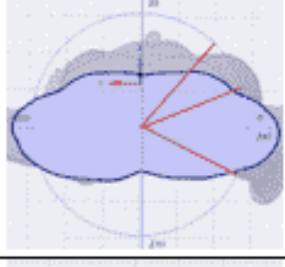
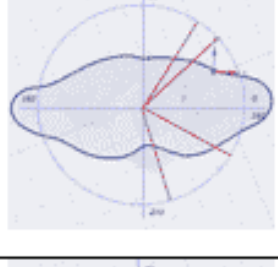
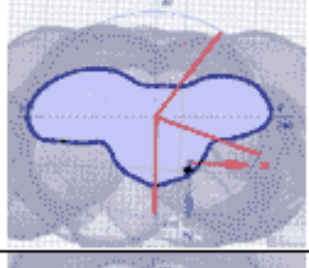
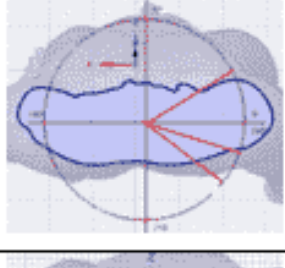
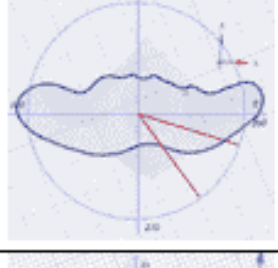
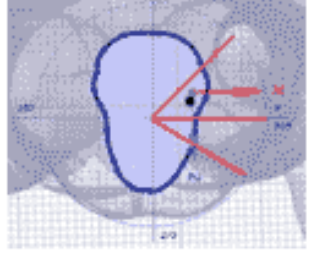
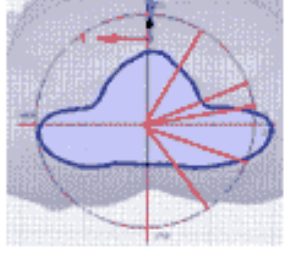
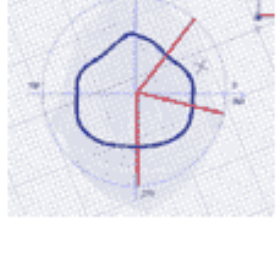
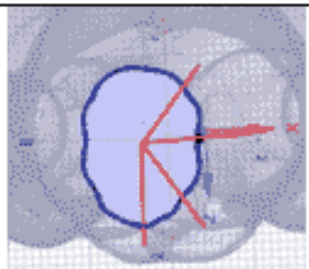
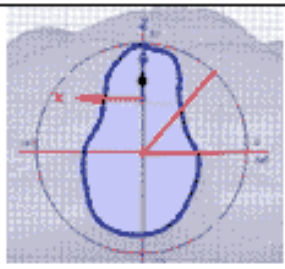
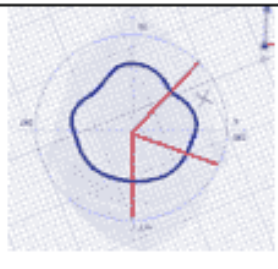
Продолжение таблицы В.3

7	L^7			
8	L^8			
9	L^9			
10	L^{10}			
11	L^{11}			
12	L^{12}			

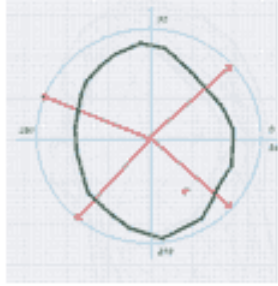
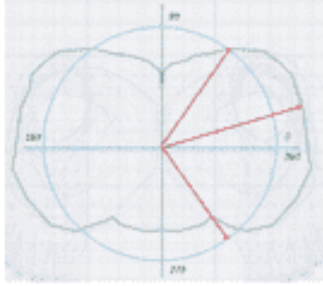
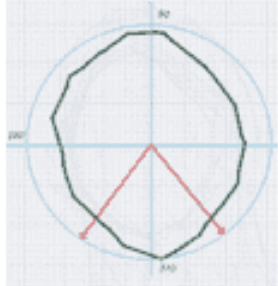
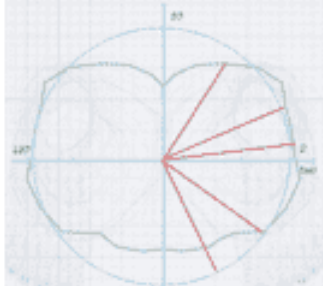
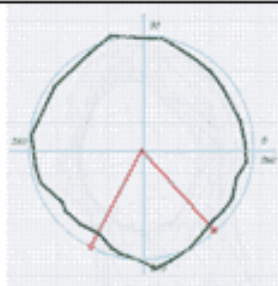
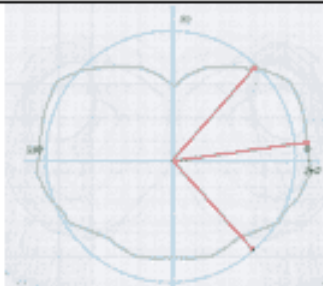
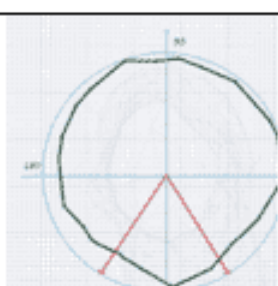
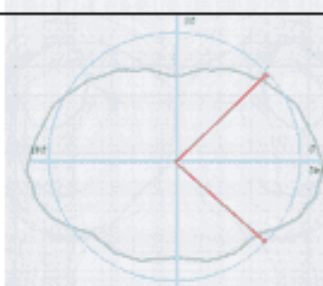
Продолжение таблицы В.3

13	L^{13}			
14	L^{14}			
15	L^{15}			
16	L^{16}			
17	L^{17}			
18	L^{18}			

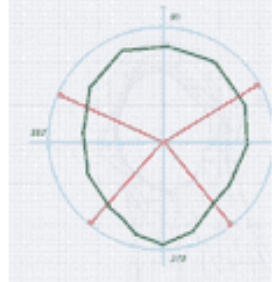
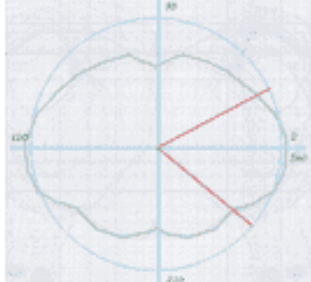
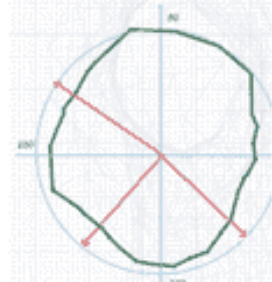
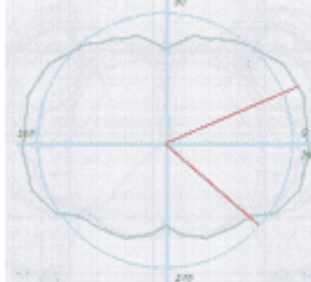
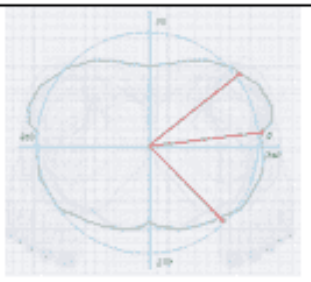
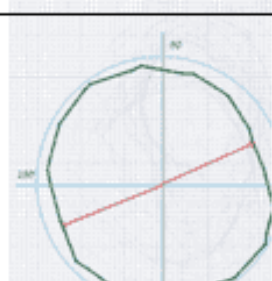
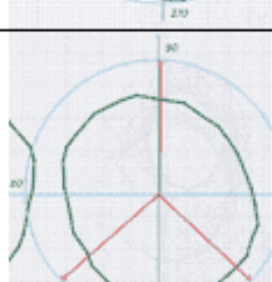
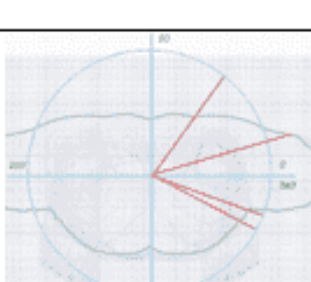
Продолжение таблицы В.3

19	L^{19}			
20	L^{20}			
21	L^{21}			
22	L^{22}			
23	L^{23}			
24	L^{24}			

Продолжение таблицы В.3

№ п/п	Обозначение трехмерно й модели	Обозначение уровня снятия поперечного сечения	№ п/п	Обозначение трехмерно й модели	Обозначение уровня снятия поперечного сечения
		<i>A34</i>			<i>A34</i>
1	L^1		13	L^{13}	
2	L^2		14	L^{14}	
3	L^3		15	L^{15}	
4	L^4		16	L^{16}	

Продолжение таблицы В.3

5	L^5		17	L^{17}	
6	L^6		18	L^{18}	
7	L^7		19	L^{19}	
8	L^8		20	L^{20}	
9	L^9		21	L^{21}	

Продолжение таблицы В.3

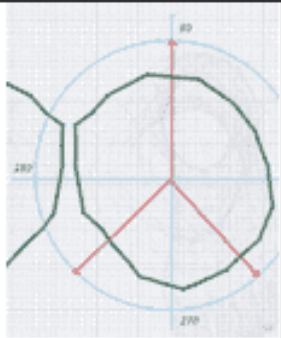
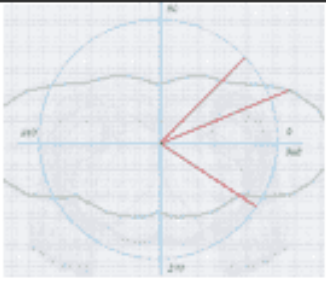
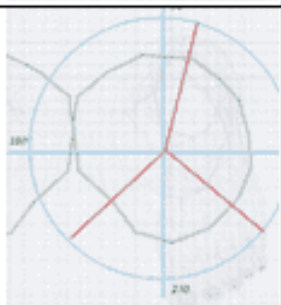
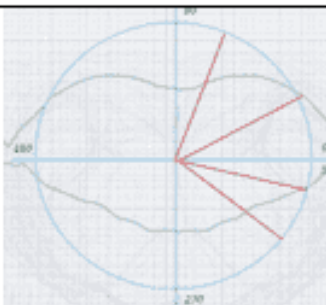
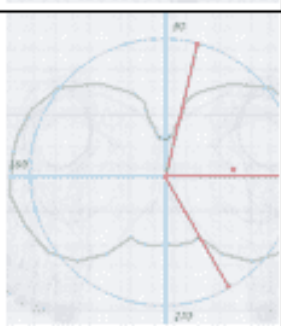
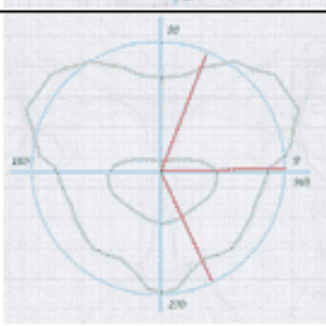
10	L^{10}		22	L^{22}	
11	L^{11}		23	L^{23}	
12	L^{12}		24	L^{24}	

Таблица В.5 – Результаты антропометрических исследований кривизны поверхности тела спортсмена (трехмерная модель А2)

№ п/п	№ п/с	№ п/с	Поларные координаты сегментов п/с												Значение радиуса кривизны сегмента п/с																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
			L ₁ ^п			L ₂ ^п			L ₃ ^п			L ₄ ^п			L ₅ ^п			L ₆ ^п			L ₇ ^п			R ₁ ^п			R ₂ ^п			R ₃ ^п			R ₄ ^п			R ₅ ^п			R ₆ ^п			R ₇ ^п			R ₈ ^п																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
			3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					</

№ м/п	№ м/с	Поларные координаты сегментов п/с										Значение радиуса кривизны сегмента п/с											
		L ⁱ		L ^j		L ^k		L ^l		L ^m		L ⁿ		L ^o		L ^p		R ^q		R ^r		R ^s	
I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	L ¹	10	40	90	120	160	230	230	270							30,23	57,73	40,6	42,09				
2	L ²	0	50	80	110	160	230	230	270							45,17	36,41	52,05	38,06				
3	L ³	0	40	70	140	170	180									58,36	52,65	70,43					
4	L ⁴	10	30	100	120	140	200	230	300							62,53	89,81	58,3	53,31				
5	L ⁵	0	30	80	130	160	210	250	300							67,18	86,05	72,78	69,18				
6	L ⁶	0	40	70	110	140	190									78,97	88,57	65,86					
7	L ⁷	30	30	70	140	160	200									61,93	97,71	81,16					
8	L ⁸	30	40	70	140											80,94	77,51						
9	L ⁹	20	60	80	130											111,77	66,97						
10	L ¹⁰	30	70	70	110											48,2	60,6						
11	L ¹¹	10	60	100	120	160	210									46,76	124,66	46,27					
12	L ¹²	20	70	100	140											100,71	94,79						
13	L ¹³	0	30	50	60											88,09	143,55						24
14	L ¹⁴	0	20	40	70	80	80									264,61	262,55	93,5					
15	L ¹⁵	10	30	60	60	80	80									226,35	117,73	149,29					
16	L ¹⁶	0	40	50	70	80	90									133,97	213,2	200,85					
17	L ¹⁷	0	40	60	70	80	80	290	320							220,04	113,79	218,68	158,09				
18	L ¹⁸	10	30	50	60	80	80	280	320	330	350					114,95	256,31	156,02	213,28	121,77			
19	L ¹⁹	10	20	60	70	80	90									147,76	248,59	122,79					
20	L ²⁰	0	40	40	70	80	80	270	300							262,91	179,27	143,28	265,64				
21	L ²¹	10	30	50	60	80	80	270	300	340	350					276,19	319,8	301,25	211,93	316,49			
22	L ²²	0	30	50	60	70	90	280	320	330	350					149,55	236,48	254,31	285,93	229,27			
23	L ²³	10	40	50	60	70	80	270	320							64,31	148,4	110,61	151,77				
24	L ²⁴	0	20	40	70	80	90									43,75	24,04	35,77					

Таблица В.7 — Результаты антропометрических исследований кривизны поверхности тела спортсмена (трехмерная модель А4)

№ п/п	№ ш/с	Полярные координаты сегментов ш/с																Значение радиуса кривизны сегмента ш/с																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
		L ¹				L ³				L ⁴				L ⁵				L ⁶				L ⁷				R ¹				R ³				R ⁵				R ⁷																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					

Таблица В.8 – Результаты антропометрических исследований кривизны поверхности тела спортсмена (трехмерная модель А5)

№ п/п	№ п/с	Поперные координаты сегментов п/с												Значение радиуса кривизны сегмента п/с																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
		L ¹		L ²		L ³		L ⁴		L ⁵		L ⁶		L ⁷		L ⁸		L ⁹		L ¹⁰		L ¹¹		L ¹²		L ¹³		L ¹⁴		L ¹⁵		L ¹⁶		R ¹		R ²		R ³		R ⁴		R ⁵		R ⁶		R ⁷		R ⁸		R ⁹		R ¹⁰		R ¹¹		R ¹²		R ¹³		R ¹⁴		R ¹⁵		R ¹⁶		R ¹⁷		R ¹⁸		R ¹⁹		R ²⁰		R ²¹		R ²²		R ²³		R ²⁴		R ²⁵		R ²⁶		R ²⁷		R ²⁸		R ²⁹		R ³⁰		R ³¹		R ³²		R ³³		R ³⁴		R ³⁵		R ³⁶		R ³⁷		R ³⁸		R ³⁹		R ⁴⁰		R ⁴¹		R ⁴²		R ⁴³		R ⁴⁴		R ⁴⁵		R ⁴⁶		R ⁴⁷		R ⁴⁸		R ⁴⁹		R ⁵⁰		R ⁵¹		R ⁵²		R ⁵³		R ⁵⁴		R ⁵⁵		R ⁵⁶		R ⁵⁷		R ⁵⁸		R ⁵⁹		R ⁶⁰		R ⁶¹		R ⁶²		R ⁶³		R ⁶⁴		R ⁶⁵		R ⁶⁶		R ⁶⁷		R ⁶⁸		R ⁶⁹		R ⁷⁰		R ⁷¹		R ⁷²		R ⁷³		R ⁷⁴		R ⁷⁵		R ⁷⁶		R ⁷⁷		R ⁷⁸		R ⁷⁹		R ⁸⁰		R ⁸¹		R ⁸²		R ⁸³		R ⁸⁴		R ⁸⁵		R ⁸⁶		R ⁸⁷		R ⁸⁸		R ⁸⁹		R ⁹⁰		R ⁹¹		R ⁹²		R ⁹³		R ⁹⁴		R ⁹⁵		R ⁹⁶		R ⁹⁷		R ⁹⁸		R ⁹⁹		R ¹⁰⁰		R ¹⁰¹		R ¹⁰²		R ¹⁰³		R ¹⁰⁴		R ¹⁰⁵		R ¹⁰⁶		R ¹⁰⁷		R ¹⁰⁸		R ¹⁰⁹		R ¹¹⁰		R ¹¹¹		R ¹¹²		R ¹¹³		R ¹¹⁴		R ¹¹⁵		R ¹¹⁶		R ¹¹⁷		R ¹¹⁸		R ¹¹⁹		R ¹²⁰		R ¹²¹		R ¹²²		R ¹²³		R ¹²⁴		R ¹²⁵		R ¹²⁶		R ¹²⁷		R ¹²⁸		R ¹²⁹		R ¹³⁰		R ¹³¹		R ¹³²		R ¹³³		R ¹³⁴		R ¹³⁵		R ¹³⁶		R ¹³⁷		R ¹³⁸		R ¹³⁹		R ¹⁴⁰		R ¹⁴¹		R ¹⁴²		R ¹⁴³		R ¹⁴⁴		R ¹⁴⁵		R ¹⁴⁶		R ¹⁴⁷		R ¹⁴⁸		R ¹⁴⁹		R ¹⁵⁰		R ¹⁵¹		R ¹⁵²		R ¹⁵³		R ¹⁵⁴		R ¹⁵⁵		R ¹⁵⁶		R ¹⁵⁷		R ¹⁵⁸		R ¹⁵⁹		R ¹⁶⁰		R ¹⁶¹		R ¹⁶²		R ¹⁶³		R ¹⁶⁴		R ¹⁶⁵		R ¹⁶⁶		R ¹⁶⁷		R ¹⁶⁸		R ¹⁶⁹		R ¹⁷⁰		R ¹⁷¹		R ¹⁷²		R ¹⁷³		R ¹⁷⁴		R ¹⁷⁵		R ¹⁷⁶		R ¹⁷⁷		R ¹⁷⁸		R ¹⁷⁹		R ¹⁸⁰		R ¹⁸¹		R ¹⁸²		R ¹⁸³		R ¹⁸⁴		R ¹⁸⁵		R ¹⁸⁶		R ¹⁸⁷		R ¹⁸⁸		R ¹⁸⁹		R ¹⁹⁰		R ¹⁹¹		R ¹⁹²		R ¹⁹³		R ¹⁹⁴		R ¹⁹⁵		R ¹⁹⁶		R ¹⁹⁷		R ¹⁹⁸		R ¹⁹⁹		R ²⁰⁰		R ²⁰¹		R ²⁰²		R ²⁰³		R ²⁰⁴		R ²⁰⁵		R ²⁰⁶		R ²⁰⁷		R ²⁰⁸		R ²⁰⁹		R ²¹⁰		R ²¹¹		R ²¹²		R ²¹³		R ²¹⁴		R ²¹⁵		R ²¹⁶		R ²¹⁷		R ²¹⁸		R ²¹⁹		R ²²⁰		R ²²¹		R ²²²		R ²²³		R ²²⁴		R ²²⁵		R ²²⁶		R ²²⁷		R ²²⁸		R ²²⁹		R ²³⁰		R ²³¹		R ²³²		R ²³³		R ²³⁴		R ²³⁵		R ²³⁶		R ²³⁷		R ²³⁸		R ²³⁹		R ²⁴⁰		R ²⁴¹		R ²⁴²		R ²⁴³		R ²⁴⁴		R ²⁴⁵		R ²⁴⁶		R ²⁴⁷		R ²⁴⁸		R ²⁴⁹		R ²⁵⁰		R ²⁵¹		R ²⁵²		R ²⁵³		R ²⁵⁴		R ²⁵⁵		R ²⁵⁶		R ²⁵⁷		R ²⁵⁸		R ²⁵⁹		R ²⁶⁰		R ²⁶¹		R ²⁶²		R ²⁶³		R ²⁶⁴		R ²⁶⁵		R ²⁶⁶		R ²⁶⁷		R ²⁶⁸		R ²⁶⁹		R ²⁷⁰		R ²⁷¹		R ²⁷²		R ²⁷³		R ²⁷⁴		R ²⁷⁵		R ²⁷⁶		R ²⁷⁷		R ²⁷⁸		R ²⁷⁹		R ²⁸⁰		R ²⁸¹		R ²⁸²		R ²⁸³		R ²⁸⁴		R ²⁸⁵		R ²⁸⁶		R ²⁸⁷		R ²⁸⁸		R ²⁸⁹		R ²⁹⁰		R ²⁹¹		R ²⁹²		R ²⁹³		R ²⁹⁴		R ²⁹⁵		R ²⁹⁶		R ²⁹⁷		R ²⁹⁸		R ²⁹⁹		R ³⁰⁰		R ³⁰¹		R ³⁰²		R ³⁰³		R ³⁰⁴		R ³⁰⁵		R ³⁰⁶		R ³⁰⁷		R ³⁰⁸		R ³⁰⁹		R ³¹⁰		R ³¹¹		R ³¹²		R ³¹³		R ³¹⁴		R ³¹⁵		R ³¹⁶		R ³¹⁷		R ³¹⁸		R ³¹⁹		R ³²⁰		R ³²¹		R ³²²		R ³²³		R ³²⁴		R ³²⁵		R ³²⁶		R ³²⁷		R ³²⁸		R ³²⁹		R ³³⁰		R ³³¹		R ³³²		R ³³³		R ³³⁴		R ³³⁵		R ³³⁶		R ³³⁷		R ³³⁸		R ³³⁹		R ³⁴⁰		R ³⁴¹		R ³⁴²		R ³⁴³		R ³⁴⁴		R ³⁴⁵		R ³⁴⁶		R ³⁴⁷		R ³⁴⁸		R ³⁴⁹		R ³⁵⁰		R ³⁵¹		R ³⁵²		R ³⁵³		R ³⁵⁴		R ³⁵⁵		R ³⁵⁶		R ³⁵⁷		R ³⁵⁸		R ³⁵⁹		R ³⁶⁰		R ³⁶¹		R ³⁶²		R ³⁶³		R ³⁶⁴		R ³⁶⁵		R ³⁶⁶		R ³⁶⁷		R ³⁶⁸		R ³⁶⁹		R ³⁷⁰		R ³⁷¹		R ³⁷²		R ³⁷³		R ³⁷⁴		R ³⁷⁵		R ³⁷⁶		R ³⁷⁷		R ³⁷⁸		R ³⁷⁹		R ³⁸⁰		R ³⁸¹		R ³⁸²		R ³⁸³		R ³⁸⁴		R ³⁸⁵		R ³⁸⁶		R ³⁸⁷		R ³⁸⁸		R ³⁸⁹		R ³⁹⁰		R ³⁹¹		R ³⁹²		R ³⁹³		R ³⁹⁴		R ³⁹⁵		R ³⁹⁶		R ³⁹⁷		R ³⁹⁸		R ³⁹⁹		R ⁴⁰⁰		R ⁴⁰¹		R ⁴⁰²		R ⁴⁰³		R ⁴⁰⁴		R ⁴⁰⁵		R ⁴⁰⁶		R ⁴⁰⁷		R ⁴⁰⁸		R ⁴⁰⁹		R ⁴¹⁰		R ⁴¹¹		R ⁴¹²		R ⁴¹³		R ⁴¹⁴		R ⁴¹⁵		R ⁴¹⁶		R ⁴¹⁷		R ⁴¹⁸		R ⁴¹⁹		R ⁴²⁰		R ⁴²¹		R ⁴²²		R ⁴²³		R ⁴²⁴		R ⁴²⁵		R ⁴²⁶		R ⁴²⁷		R ⁴²⁸		R ⁴²⁹		R ⁴³⁰		R ⁴³¹		R ⁴³²		R ⁴³³		R ⁴³⁴		R ⁴³⁵		R ⁴³⁶		R ⁴³⁷		R ⁴³⁸		R ⁴³⁹		R ⁴⁴⁰		R ⁴⁴¹		R ⁴⁴²		R ⁴⁴³		R ⁴⁴⁴		R ⁴⁴⁵		R ⁴⁴⁶		R ⁴⁴⁷		R ⁴⁴⁸		R ⁴⁴⁹		R ⁴⁵⁰		R ⁴⁵¹		R ⁴⁵²		R ⁴⁵³		R ⁴⁵⁴		R ⁴⁵⁵		R ⁴⁵⁶		R ⁴⁵⁷		R ⁴⁵⁸		R ⁴⁵⁹		R ⁴⁶⁰		R ⁴⁶¹		R ⁴⁶²		R ⁴⁶³		R ⁴⁶⁴		R ⁴⁶⁵		R ⁴⁶⁶		R ⁴⁶⁷		R ⁴⁶⁸		R ⁴⁶⁹		R ⁴⁷⁰		R ⁴⁷¹		R ⁴⁷²		R ⁴⁷³		R ⁴⁷⁴		R ⁴⁷⁵		R ⁴⁷⁶		R ⁴⁷⁷		R ⁴⁷⁸		R ⁴⁷⁹		R ⁴⁸⁰		R ⁴⁸¹		R ⁴⁸²		R ⁴⁸³		R ⁴⁸⁴		R ⁴⁸⁵		R ⁴⁸⁶		R ⁴⁸⁷		R ⁴⁸⁸		R ⁴⁸⁹		R ⁴⁹⁰		R ⁴⁹¹		R ⁴⁹²		R ⁴⁹³		R ⁴⁹⁴		R ⁴⁹⁵		R ⁴⁹⁶		R ⁴⁹⁷		R ⁴⁹⁸		R ⁴⁹⁹		R ⁵⁰⁰		R ⁵⁰¹		R ⁵⁰²		R ⁵⁰³		R ⁵⁰⁴		R ⁵⁰⁵		R ⁵⁰⁶		R ⁵⁰⁷		R ⁵⁰⁸		R ⁵⁰⁹		R ⁵¹⁰		R ⁵¹¹		R ⁵¹²		R ⁵¹³		R ⁵¹⁴		R ⁵¹⁵		R ⁵¹⁶		R ⁵¹⁷		R ⁵¹⁸		R ⁵¹⁹		R ⁵²⁰		R ⁵²¹		R ⁵²²		R ⁵²³		R ⁵²⁴		R ⁵²⁵		R ⁵²⁶		R ⁵²⁷		R ⁵²⁸		R ⁵²⁹		R ⁵³⁰		R ⁵³¹		R ⁵³²		R ⁵³³		R ⁵³⁴		R ⁵³⁵		R ⁵³⁶		R ⁵³⁷		R ⁵³⁸		R ⁵³⁹		R ⁵⁴⁰		R ⁵⁴¹		R ⁵⁴²		R ⁵⁴³		R ⁵⁴⁴		R ⁵⁴⁵		R ⁵⁴⁶		R ⁵⁴⁷		R ⁵⁴⁸		R ⁵⁴⁹		R ⁵⁵⁰		R ⁵⁵¹		R ⁵⁵²		R ⁵⁵³		R ⁵⁵⁴		R ⁵⁵⁵		R ⁵⁵⁶		R ⁵⁵⁷		R ⁵⁵⁸		R ⁵⁵⁹		R ⁵⁶⁰		R ⁵⁶¹		R ⁵⁶²		R ⁵⁶³		R ⁵⁶⁴		R ⁵⁶⁵		R ⁵⁶⁶		R ⁵⁶⁷		R ⁵⁶⁸		R ⁵⁶⁹		R ⁵⁷⁰		R ⁵⁷¹		R ⁵⁷²		R ⁵⁷³		R ⁵⁷⁴		R ⁵⁷⁵		R ⁵⁷⁶		R ⁵⁷⁷		R ⁵⁷⁸		R ⁵⁷⁹		R ⁵⁸⁰		R ⁵⁸¹		R ⁵⁸²		R ⁵⁸³		R ⁵⁸⁴		R ⁵⁸⁵		R ⁵⁸⁶		R ⁵⁸⁷		R ⁵⁸⁸		R ⁵⁸⁹		R ⁵⁹⁰		R ⁵⁹¹		R ⁵⁹²		R ⁵⁹³		R ⁵⁹⁴		R ⁵⁹⁵		R ⁵⁹⁶		R ⁵⁹⁷		R ⁵⁹⁸		R ⁵⁹⁹		R ⁶⁰⁰		R ⁶⁰¹		R ⁶⁰²		R ⁶⁰³		R ⁶⁰⁴		R ⁶⁰⁵		R ⁶⁰⁶		R ⁶⁰⁷		R ⁶⁰⁸		R ⁶⁰⁹		R ⁶¹⁰		R ⁶¹¹		R ⁶¹²		R ⁶¹³		R ⁶¹⁴		R ⁶¹⁵		R ⁶¹⁶		R ⁶¹⁷		R ⁶¹⁸		R ⁶¹⁹		R ⁶²⁰		R ⁶²¹		R ⁶²²		R ⁶²³		R ⁶²⁴		R ⁶²⁵		R ⁶²⁶		R ⁶²⁷		R ⁶²⁸		R ⁶²⁹		R ⁶³⁰		R ⁶³¹		R ⁶³²		R ⁶³³		R ⁶³⁴		R ⁶³⁵		R ⁶³⁶		R ⁶³⁷		R ⁶³⁸		R ⁶³⁹		R ⁶⁴⁰		R ⁶⁴¹		R ⁶⁴²		R ⁶⁴³		R ⁶⁴⁴		R ⁶⁴⁵		R ⁶⁴⁶		R ⁶⁴⁷		R ⁶⁴⁸		R ⁶⁴⁹		R ⁶⁵⁰		R ⁶⁵¹		R ⁶⁵²		R ⁶⁵³		R ⁶⁵⁴		R ⁶⁵⁵		R ⁶⁵⁶		R ⁶⁵⁷		R ⁶⁵⁸		R ⁶⁵⁹		R ⁶⁶⁰		R ⁶⁶¹		R ⁶⁶²		R ⁶⁶³		R ⁶⁶⁴		R ⁶⁶⁵		R ⁶⁶⁶		R ⁶⁶⁷		R ⁶⁶⁸		R ⁶⁶⁹		R ⁶⁷⁰		R ⁶⁷¹		R ⁶⁷²		R ⁶⁷³		R ⁶⁷⁴		R ⁶⁷⁵		R ⁶⁷⁶		R ⁶⁷⁷		R ⁶⁷⁸		R ⁶⁷⁹		R ⁶⁸⁰		R ⁶⁸¹		R ⁶⁸²		R ⁶⁸³		R ⁶⁸⁴		R ⁶⁸⁵		R ⁶⁸⁶		R ⁶⁸⁷		R ⁶⁸⁸		R ⁶⁸⁹		R ⁶⁹⁰		R ⁶⁹¹		R ⁶⁹²		R ⁶⁹³		R ⁶⁹⁴		R ⁶⁹⁵		R ⁶⁹⁶		R ⁶⁹⁷		R ⁶⁹⁸		R ⁶⁹⁹		R ⁷⁰⁰		R ⁷⁰¹		R ⁷⁰²		R ⁷⁰³		R ⁷⁰⁴		R ⁷⁰⁵		R ⁷⁰⁶		R ⁷⁰⁷		R ⁷⁰⁸		R ⁷⁰⁹		R ⁷¹⁰		R ⁷¹¹		R ⁷¹²		R ⁷¹³		R ⁷¹⁴		R ⁷¹⁵	

Таблица В.10 – Результаты антропометрических исследований кривизны поверхности тела спортсмена (трехмерная модель А7)

№ п/п	№ п/с	Поларные координаты сегментов п/с												Значение радиуса кривизны сегмента п/с																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
		L ¹		L ²		L ³		L ⁴		L ⁵		L ⁶		L ⁷		L ⁸		L ⁹		L ¹⁰		L ¹¹		L ¹²		L ¹³		L ¹⁴		L ¹⁵		L ¹⁶		R ¹		R ²		R ³		R ⁴		R ⁵		R ⁶		R ⁷		R ⁸		R ⁹		R ¹⁰		R ¹¹		R ¹²		R ¹³		R ¹⁴		R ¹⁵		R ¹⁶		R ¹⁷		R ¹⁸		R ¹⁹		R ²⁰		R ²¹		R ²²		R ²³		R ²⁴		R ²⁵		R ²⁶		R ²⁷		R ²⁸		R ²⁹		R ³⁰		R ³¹		R ³²		R ³³		R ³⁴		R ³⁵		R ³⁶		R ³⁷		R ³⁸		R ³⁹		R ⁴⁰		R ⁴¹		R ⁴²		R ⁴³		R ⁴⁴		R ⁴⁵		R ⁴⁶		R ⁴⁷		R ⁴⁸		R ⁴⁹		R ⁵⁰		R ⁵¹		R ⁵²		R ⁵³		R ⁵⁴		R ⁵⁵		R ⁵⁶		R ⁵⁷		R ⁵⁸		R ⁵⁹		R ⁶⁰		R ⁶¹		R ⁶²		R ⁶³		R ⁶⁴		R ⁶⁵		R ⁶⁶		R ⁶⁷		R ⁶⁸		R ⁶⁹		R ⁷⁰		R ⁷¹		R ⁷²		R ⁷³		R ⁷⁴		R ⁷⁵		R ⁷⁶		R ⁷⁷		R ⁷⁸		R ⁷⁹		R ⁸⁰		R ⁸¹		R ⁸²		R ⁸³		R ⁸⁴		R ⁸⁵		R ⁸⁶		R ⁸⁷		R ⁸⁸		R ⁸⁹		R ⁹⁰		R ⁹¹		R ⁹²		R ⁹³		R ⁹⁴		R ⁹⁵		R ⁹⁶		R ⁹⁷		R ⁹⁸		R ⁹⁹		R ¹⁰⁰		R ¹⁰¹		R ¹⁰²		R ¹⁰³		R ¹⁰⁴		R ¹⁰⁵		R ¹⁰⁶		R ¹⁰⁷		R ¹⁰⁸		R ¹⁰⁹		R ¹¹⁰		R ¹¹¹		R ¹¹²		R ¹¹³		R ¹¹⁴		R ¹¹⁵		R ¹¹⁶		R ¹¹⁷		R ¹¹⁸		R ¹¹⁹		R ¹²⁰		R ¹²¹		R ¹²²		R ¹²³		R ¹²⁴		R ¹²⁵		R ¹²⁶		R ¹²⁷		R ¹²⁸		R ¹²⁹		R ¹³⁰		R ¹³¹		R ¹³²		R ¹³³		R ¹³⁴		R ¹³⁵		R ¹³⁶		R ¹³⁷		R ¹³⁸		R ¹³⁹		R ¹⁴⁰		R ¹⁴¹		R ¹⁴²		R ¹⁴³		R ¹⁴⁴		R ¹⁴⁵		R ¹⁴⁶		R ¹⁴⁷		R ¹⁴⁸		R ¹⁴⁹		R ¹⁵⁰		R ¹⁵¹		R ¹⁵²		R ¹⁵³		R ¹⁵⁴		R ¹⁵⁵		R ¹⁵⁶		R ¹⁵⁷		R ¹⁵⁸		R ¹⁵⁹		R ¹⁶⁰		R ¹⁶¹		R ¹⁶²		R ¹⁶³		R ¹⁶⁴		R ¹⁶⁵		R ¹⁶⁶		R ¹⁶⁷		R ¹⁶⁸		R ¹⁶⁹		R ¹⁷⁰		R ¹⁷¹		R ¹⁷²		R ¹⁷³		R ¹⁷⁴		R ¹⁷⁵		R ¹⁷⁶		R ¹⁷⁷		R ¹⁷⁸		R ¹⁷⁹		R ¹⁸⁰		R ¹⁸¹		R ¹⁸²		R ¹⁸³		R ¹⁸⁴		R ¹⁸⁵		R ¹⁸⁶		R ¹⁸⁷		R ¹⁸⁸		R ¹⁸⁹		R ¹⁹⁰		R ¹⁹¹		R ¹⁹²		R ¹⁹³		R ¹⁹⁴		R ¹⁹⁵		R ¹⁹⁶		R ¹⁹⁷		R ¹⁹⁸		R ¹⁹⁹		R ²⁰⁰		R ²⁰¹		R ²⁰²		R ²⁰³		R ²⁰⁴		R ²⁰⁵		R ²⁰⁶		R ²⁰⁷		R ²⁰⁸		R ²⁰⁹		R ²¹⁰		R ²¹¹		R ²¹²		R ²¹³		R ²¹⁴		R ²¹⁵		R ²¹⁶		R ²¹⁷		R ²¹⁸		R ²¹⁹		R ²²⁰		R ²²¹		R ²²²		R ²²³		R ²²⁴		R ²²⁵		R ²²⁶		R ²²⁷		R ²²⁸		R ²²⁹		R ²³⁰		R ²³¹		R ²³²		R ²³³		R ²³⁴		R ²³⁵		R ²³⁶		R ²³⁷		R ²³⁸		R ²³⁹		R ²⁴⁰		R ²⁴¹		R ²⁴²		R ²⁴³		R ²⁴⁴		R ²⁴⁵		R ²⁴⁶		R ²⁴⁷		R ²⁴⁸		R ²⁴⁹		R ²⁵⁰		R ²⁵¹		R ²⁵²		R ²⁵³		R ²⁵⁴		R ²⁵⁵		R ²⁵⁶		R ²⁵⁷		R ²⁵⁸		R ²⁵⁹		R ²⁶⁰		R ²⁶¹		R ²⁶²		R ²⁶³		R ²⁶⁴		R ²⁶⁵		R ²⁶⁶		R ²⁶⁷		R ²⁶⁸		R ²⁶⁹		R ²⁷⁰		R ²⁷¹		R ²⁷²		R ²⁷³		R ²⁷⁴		R ²⁷⁵		R ²⁷⁶		R ²⁷⁷		R ²⁷⁸		R ²⁷⁹		R ²⁸⁰		R ²⁸¹		R ²⁸²		R ²⁸³		R ²⁸⁴		R ²⁸⁵		R ²⁸⁶		R ²⁸⁷		R ²⁸⁸		R ²⁸⁹		R ²⁹⁰		R ²⁹¹		R ²⁹²		R ²⁹³		R ²⁹⁴		R ²⁹⁵		R ²⁹⁶		R ²⁹⁷		R ²⁹⁸		R ²⁹⁹		R ³⁰⁰		R ³⁰¹		R ³⁰²		R ³⁰³		R ³⁰⁴		R ³⁰⁵		R ³⁰⁶		R ³⁰⁷		R ³⁰⁸		R ³⁰⁹		R ³¹⁰		R ³¹¹		R ³¹²		R ³¹³		R ³¹⁴		R ³¹⁵		R ³¹⁶		R ³¹⁷		R ³¹⁸		R ³¹⁹		R ³²⁰		R ³²¹		R ³²²		R ³²³		R ³²⁴		R ³²⁵		R ³²⁶		R ³²⁷		R ³²⁸		R ³²⁹		R ³³⁰		R ³³¹		R ³³²		R ³³³		R ³³⁴		R ³³⁵		R ³³⁶		R ³³⁷		R ³³⁸		R ³³⁹		R ³⁴⁰		R ³⁴¹		R ³⁴²		R ³⁴³		R ³⁴⁴		R ³⁴⁵		R ³⁴⁶		R ³⁴⁷		R ³⁴⁸		R ³⁴⁹		R ³⁵⁰		R ³⁵¹		R ³⁵²		R ³⁵³		R ³⁵⁴		R ³⁵⁵		R ³⁵⁶		R ³⁵⁷		R ³⁵⁸		R ³⁵⁹		R ³⁶⁰		R ³⁶¹		R ³⁶²		R ³⁶³		R ³⁶⁴		R ³⁶⁵		R ³⁶⁶		R ³⁶⁷		R ³⁶⁸		R ³⁶⁹		R ³⁷⁰		R ³⁷¹		R ³⁷²		R ³⁷³		R ³⁷⁴		R ³⁷⁵		R ³⁷⁶		R ³⁷⁷		R ³⁷⁸		R ³⁷⁹		R ³⁸⁰		R ³⁸¹		R ³⁸²		R ³⁸³		R ³⁸⁴		R ³⁸⁵		R ³⁸⁶		R ³⁸⁷		R ³⁸⁸		R ³⁸⁹		R ³⁹⁰		R ³⁹¹		R ³⁹²		R ³⁹³		R ³⁹⁴		R ³⁹⁵		R ³⁹⁶		R ³⁹⁷		R ³⁹⁸		R ³⁹⁹		R ⁴⁰⁰		R ⁴⁰¹		R ⁴⁰²		R ⁴⁰³		R ⁴⁰⁴		R ⁴⁰⁵		R ⁴⁰⁶		R ⁴⁰⁷		R ⁴⁰⁸		R ⁴⁰⁹		R ⁴¹⁰		R ⁴¹¹		R ⁴¹²		R ⁴¹³		R ⁴¹⁴		R ⁴¹⁵		R ⁴¹⁶		R ⁴¹⁷		R ⁴¹⁸		R ⁴¹⁹		R ⁴²⁰		R ⁴²¹		R ⁴²²		R ⁴²³		R ⁴²⁴		R ⁴²⁵		R ⁴²⁶		R ⁴²⁷		R ⁴²⁸		R ⁴²⁹		R ⁴³⁰		R ⁴³¹		R ⁴³²		R ⁴³³		R ⁴³⁴		R ⁴³⁵		R ⁴³⁶		R ⁴³⁷		R ⁴³⁸		R ⁴³⁹		R ⁴⁴⁰		R ⁴⁴¹		R ⁴⁴²		R ⁴⁴³		R ⁴⁴⁴		R ⁴⁴⁵		R ⁴⁴⁶		R ⁴⁴⁷		R ⁴⁴⁸		R ⁴⁴⁹		R ⁴⁵⁰		R ⁴⁵¹		R ⁴⁵²		R ⁴⁵³		R ⁴⁵⁴		R ⁴⁵⁵		R ⁴⁵⁶		R ⁴⁵⁷		R ⁴⁵⁸		R ⁴⁵⁹		R ⁴⁶⁰		R ⁴⁶¹		R ⁴⁶²		R ⁴⁶³		R ⁴⁶⁴		R ⁴⁶⁵		R ⁴⁶⁶		R ⁴⁶⁷		R ⁴⁶⁸		R ⁴⁶⁹		R ⁴⁷⁰		R ⁴⁷¹		R ⁴⁷²		R ⁴⁷³		R ⁴⁷⁴		R ⁴⁷⁵		R ⁴⁷⁶		R ⁴⁷⁷		R ⁴⁷⁸		R ⁴⁷⁹		R ⁴⁸⁰		R ⁴⁸¹		R ⁴⁸²		R ⁴⁸³		R ⁴⁸⁴		R ⁴⁸⁵		R ⁴⁸⁶		R ⁴⁸⁷		R ⁴⁸⁸		R ⁴⁸⁹		R ⁴⁹⁰		R ⁴⁹¹		R ⁴⁹²		R ⁴⁹³		R ⁴⁹⁴		R ⁴⁹⁵		R ⁴⁹⁶		R ⁴⁹⁷		R ⁴⁹⁸		R ⁴⁹⁹		R ⁵⁰⁰		R ⁵⁰¹		R ⁵⁰²		R ⁵⁰³		R ⁵⁰⁴		R ⁵⁰⁵		R ⁵⁰⁶		R ⁵⁰⁷		R ⁵⁰⁸		R ⁵⁰⁹		R ⁵¹⁰		R ⁵¹¹		R ⁵¹²		R ⁵¹³		R ⁵¹⁴		R ⁵¹⁵		R ⁵¹⁶		R ⁵¹⁷		R ⁵¹⁸		R ⁵¹⁹		R ⁵²⁰		R ⁵²¹		R ⁵²²		R ⁵²³		R ⁵²⁴		R ⁵²⁵		R ⁵²⁶		R ⁵²⁷		R ⁵²⁸		R ⁵²⁹		R ⁵³⁰		R ⁵³¹		R ⁵³²		R ⁵³³		R ⁵³⁴		R ⁵³⁵		R ⁵³⁶		R ⁵³⁷		R ⁵³⁸		R ⁵³⁹		R ⁵⁴⁰		R ⁵⁴¹		R ⁵⁴²		R ⁵⁴³		R ⁵⁴⁴		R ⁵⁴⁵		R ⁵⁴⁶		R ⁵⁴⁷		R ⁵⁴⁸		R ⁵⁴⁹		R ⁵⁵⁰		R ⁵⁵¹		R ⁵⁵²		R ⁵⁵³		R ⁵⁵⁴		R ⁵⁵⁵		R ⁵⁵⁶		R ⁵⁵⁷		R ⁵⁵⁸		R ⁵⁵⁹		R ⁵⁶⁰		R ⁵⁶¹		R ⁵⁶²		R ⁵⁶³		R ⁵⁶⁴		R ⁵⁶⁵		R ⁵⁶⁶		R ⁵⁶⁷		R ⁵⁶⁸		R ⁵⁶⁹		R ⁵⁷⁰		R ⁵⁷¹		R ⁵⁷²		R ⁵⁷³		R ⁵⁷⁴		R ⁵⁷⁵		R ⁵⁷⁶		R ⁵⁷⁷		R ⁵⁷⁸		R ⁵⁷⁹		R ⁵⁸⁰		R ⁵⁸¹		R ⁵⁸²		R ⁵⁸³		R ⁵⁸⁴		R ⁵⁸⁵		R ⁵⁸⁶		R ⁵⁸⁷		R ⁵⁸⁸		R ⁵⁸⁹		R ⁵⁹⁰		R ⁵⁹¹		R ⁵⁹²		R ⁵⁹³		R ⁵⁹⁴		R ⁵⁹⁵		R ⁵⁹⁶		R ⁵⁹⁷		R ⁵⁹⁸		R ⁵⁹⁹		R ⁶⁰⁰		R ⁶⁰¹		R ⁶⁰²		R ⁶⁰³		R ⁶⁰⁴		R ⁶⁰⁵		R ⁶⁰⁶		R ⁶⁰⁷		R ⁶⁰⁸		R ⁶⁰⁹		R ⁶¹⁰		R ⁶¹¹		R ⁶¹²		R ⁶¹³		R ⁶¹⁴		R ⁶¹⁵		R ⁶¹⁶		R ⁶¹⁷		R ⁶¹⁸		R ⁶¹⁹		R ⁶²⁰		R ⁶²¹		R ⁶²²		R ⁶²³		R ⁶²⁴		R ⁶²⁵		R ⁶²⁶		R ⁶²⁷		R ⁶²⁸		R ⁶²⁹		R ⁶³⁰		R ⁶³¹		R ⁶³²		R ⁶³³		R ⁶³⁴		R ⁶³⁵		R ⁶³⁶		R ⁶³⁷		R ⁶³⁸		R ⁶³⁹		R ⁶⁴⁰		R ⁶⁴¹		R ⁶⁴²		R ⁶⁴³		R ⁶⁴⁴		R ⁶⁴⁵		R ⁶⁴⁶		R ⁶⁴⁷		R ⁶⁴⁸		R ⁶⁴⁹		R ⁶⁵⁰		R ⁶⁵¹		R ⁶⁵²		R ⁶⁵³		R ⁶⁵⁴		R ⁶⁵⁵		R ⁶⁵⁶		R ⁶⁵⁷		R ⁶⁵⁸		R ⁶⁵⁹		R ⁶⁶⁰		R ⁶⁶¹		R ⁶⁶²		R ⁶⁶³		R ⁶⁶⁴		R ⁶⁶⁵		R ⁶⁶⁶		R ⁶⁶⁷		R ⁶⁶⁸		R ⁶⁶⁹		R ⁶⁷⁰		R ⁶⁷¹		R ⁶⁷²		R ⁶⁷³		R ⁶⁷⁴		R ⁶⁷⁵		R ⁶⁷⁶		R ⁶⁷⁷		R ⁶⁷⁸		R ⁶⁷⁹		R ⁶⁸⁰		R ⁶⁸¹		R ⁶⁸²		R ⁶⁸³		R ⁶⁸⁴		R ⁶⁸⁵		R ⁶⁸⁶		R ⁶⁸⁷		R ⁶⁸⁸		R ⁶⁸⁹		R ⁶⁹⁰		R ⁶⁹¹		R ⁶⁹²		R ⁶⁹³		R ⁶⁹⁴		R ⁶⁹⁵		R ⁶⁹⁶		R ⁶⁹⁷		R ⁶⁹⁸		R ⁶⁹⁹		R ⁷⁰⁰		R ⁷⁰¹		R ⁷⁰²		R ⁷⁰³		R ⁷⁰⁴		R ⁷⁰⁵		R ⁷⁰⁶		R ⁷⁰⁷		R ⁷⁰⁸		R ⁷⁰⁹		R ⁷¹⁰		R ⁷¹¹		R ⁷¹²		R ⁷¹³		R ⁷¹⁴		R ⁷¹⁵	

Таблица В.11 – Результаты антропометрических исследований кривизны поверхности тела спортсмена (трехмерная модель А8)

№ п/п	№ п/с	Поларные координаты сегментов п/с										Значение радиуса кривизны сегмента п/с																					
		L ¹	3	4	5	L ²	L ³	6	7	8	9	L ⁴	L ⁵	10	11	12	13	14	15	16	R ¹	R ²	18	19	R ³	R ⁴	20	21	R ⁵	R ⁶	23	24	
1	L ¹	0	30	100	140	160	220														67,64	20,28	40,88										
2	L ²	20	30	90	140	150	210	230	280												70,02	70,91	44,96	76,91									
3	L ³	30	30	90	110	140	230														56,43	52,49	41,62										
4	L ⁴	10	30	90	120	160	190														50,65	76,19	79,92										
5	L ⁵	10	70	80	120	140	230	260	280												70,92	69,89	83,97	67									
6	L ⁶	0	70	100	120	140	180														72,73	86,83	81,23										
7	L ⁷	0	50	100	110	140	190	260	270												63,87	52,61	84,59	97,87									
8	L ⁸	10	30	100	140	140	210	240	280												79,99	82,44	70,14	83,85									
9	L ⁹	20	50	80	130	150	180	240	290												116,18	106,34	96,75	60,66									
10	L ¹⁰	10	70	100	140	170	230	250	270	300	340										122,85	44,8	59,57	46,75	124,19								
11	L ¹¹	20	60	80	130	170	230														131,08	41,73	66,46										
12	L ¹²	0	50	100	130	150	230														63,73	93,99	164,92										
13	L ¹³	0	40	60	60																150,55	198,59											
14	L ¹⁴	10	30	50	70	80	80	290	320												192,56	263,33	152,88	127,49									
15	L ¹⁵	0	40	40	60	80	80	290	310	340	360										217	167,62	254,41	146,97	235,06								
16	L ¹⁶	10	20	40	70																197,99	181,62											
17	L ¹⁷	10	20	50	60	80	90														242,52	182,27	239,89										
18	L ¹⁸	10	30	60	60	70	80	270	320	330	350										141,93	171,37	201,46	129,97	91,59								
19	L ¹⁹	10	40	50	60																112,75	148,39											
20	L ²⁰	0	40	60	60	70	80														130,54	258,25	195,47										
21	L ²¹	10	20	60	70	80	90														270,19	296,57	287,22										
22	L ²²	0	30	50	60	80	90	290	330	330	360										147,18	267,95	156,04	224,31	183,14								
23	L ²³	0	40	40	70																108,88	98,4											
24	L ²⁴	10	40	60	70	70	90														39,97	45,5	45,82										

Таблица В.12 – Результаты антропометрических исследований кривизны поверхности тела спортсмена (трехмерная модель А9)

№ п/п	№ п/с	Поларные координаты сегментов п/с												Значение радиуса кривизны сегмента п/с														
		L ¹	L ²	L ³	L ⁴	L ⁵	L ⁶	L ⁷	L ⁸	L ⁹	L ¹⁰	L ¹¹	L ¹²	L ¹³	L ¹⁴	L ¹⁵	L ¹⁶	R ¹	R ²	R ³	R ⁴	R ⁵	R ⁶	R ⁷	R ⁸	R ⁹	R ¹⁰	
1	L ¹	30	40	70	120	170	230	240	280									50,07	39,12	45,66	60,8							
2	L ²	30	60	70	140	160	190	240	300	330								59,54	32,75	62,5	77,1	75,95						
3	L ³	30	30	70	130	160	210	250	300	330								68,73	46,22	41,54	44,14	40,72						
4	L ⁴	0	50	90	120	150	200	260	290									59,08	53,85	54,54	72,93							
5	L ⁵	30	70	80	130	160	220	240	290	310	330							72,73	82,82	87,25	78,86	89,86	72,73	82,82				
6	L ⁶	10	40	100	110	140	190	250	270	300	350							75,24	73,59	63,8	65,9	66,8						
7	L ⁷	30	60	90	110	140	210											67,81	84,54	61,03								
8	L ⁸	0	50	70	120	160	230	260	270									73,48	86,22	87,29	60,88							
9	L ⁹	30	40	90	140	160	200	230	270									112,47	63,28	111,12	96,54							
10	L ¹⁰	10	40	70	130	140	200	250	300	320	360							128,67	118,17	103,01	77,38	44,46						
11	L ¹¹	10	70	90	140	160	180	230	270	300	330	330	360					70,18	104,97	94,68	83,3	132,49	70,18					
12	L ¹²	10	70	70	140	150	230	250	290	310	330							70,88	144,99	136,26	97,18	78,15	70,88					
13	L ¹³	0	30	40	70	80	80	270	310	340	360							84,46	189,4	184,55	245,42	226,61						
14	L ¹⁴	0	40	40	60	70	90	280	310	330	360							234,77	245,27	226,26	165,64	252,75						
15	L ¹⁵	10	20	60	70	80	90	270	320	330	360							193,02	122,62	96,55	150,18	109,5						
16	L ¹⁶	0	30	60	60	80	90	290	300									208,6	238,89	260,25	214,14							
17	L ¹⁷	10	30	40	60	80	80	280	300	330	350							122,44	185,4	269,61	165,71	176,87						
18	L ¹⁸	10	30	50	60	70	90	290	300	340	360							105,25	155,85	231,94	113,88	255,53						
19	L ¹⁹	10	30	50	70	80	80	280	300	300	330	330	350					213,11	198,42	132,9	201,85	264,68	213,11					
20	L ²⁰	10	40	50	70	80	80	290	310									179,21	195,01	283,98	210,87							
21	L ²¹	10	20	60	70	70	90	280	320									311,36	186,74	242,94	241,2							
22	L ²²	10	40	60	60	70	90	290	330	350								248,97	247,68	202,96	247,98	221,67						
23	L ²³	0	40	50	60	80	80	290	300	350								130,64	142,16	87,81	65,49	52,74						
24	L ²⁴	0	40	60	70	70	90	270	330									39,42	41,75	48	22,8							

Таблица В.14 – Результаты антропометрических исследований кривизны поверхности тела спортсмена (трехмерная модель А11)

№ п/п	№ п/с	Полярные координаты сегментов п/с												Значение радиуса кривизны сегмента п/с											
		L ₁ ⁱ		L ₂ ⁱ		L ₃ ⁱ		L ₄ ⁱ		L ₅ ⁱ		L ₆ ⁱ		L ₇ ⁱ	L ₈ ⁱ	R ₁ ⁱ	R ₂ ⁱ	R ₃ ⁱ	R ₄ ⁱ	R ₅ ⁱ	R ₆ ⁱ	R ₇ ⁱ	R ₈ ⁱ		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24		
1	L ₁ ¹	10	70	90	140	170	190	260	270							21,1	56,8	52,8	34,42						
2	L ₁ ²	20	50	100	130	160	180	250	300	310	340					45,33	76,31	62,37	75,69	52,96					
3	L ₁ ³	20	30	70	110	140	180									51,4	53,69	76,3							
4	L ₁ ⁴	30	40	90	130	170	180	260	290							72,08	58,79	82,99	80,18						
5	L ₁ ⁵	0	50	80	120	170	180	250	280	300	350					64,53	83,73	80,61	84,33	77,07					
6	L ₁ ⁶	20	30	70	140	150	220									71,86	79,6	71,91							
7	L ₁ ⁷	10	30	80	110	160	220	240	270							91,27	60,46	58,97	99,51						
8	L ₁ ⁸	0	70	80	120	140	220	250	270	310	350					94,79	66,52	84,89	63,57	78,3					
9	L ₁ ⁹	20	50	70	130	150	190	260	300							75,16	108,88	79,78	108,14						
10	L ₁ ¹⁰	30	40	70	140	170	210									114,28	106,33	112,86							
11	L ₁ ¹¹	10	40	70	120	160	220	230	290							106,64	40,88	119,86	52,51						
12	L ₁ ¹²	10	40	100	130	160	220	250	300							82,59	72,67	111,62	143,81						
13	L ₁ ¹³	10	40	60	70	70	90									111,39	129,63	175,13							
14	L ₁ ¹⁴	0	30	40	70	70	80	280	310							98,21	87,02	159,65	227,22						
15	L ₁ ¹⁵	0	40	40	60	70	90	280	300	330	350					228,17	128,26	172,67	199,01	259,64					
16	L ₁ ¹⁶	0	40	60	70	70	90	290	320							124,65	104,81	145,34							
17	L ₁ ¹⁷	0	40	40	60	80	90	290	300	330	360					216,9	277,94	228,51	136,74	221,26					
18	L ₁ ¹⁸	0	30	40	70	80	80									124	93,3	111,2							
19	L ₁ ¹⁹	0	30	40	70	80	80									131,61	210,09	229,49							
20	L ₁ ²⁰	10	40	40	60	80	80	270	330							262,29	221,26	240,11	235,06						
21	L ₁ ²¹	0	40	50	60	80	90	270	330	340	350					234,27	295,45	255,27	233,07	241,54					
22	L ₁ ²²	0	20	60	60	80	90									270,26	154,88	155,15							
23	L ₁ ²³	10	40	50	60	70	90	290	310							100,8	79,65	167,41	93,94						
24	L ₁ ²⁴	0	30	40	60	70	80	290	320							42,09	38,01	24,56	23,85						

Таблица В.15 – Результаты антропометрических исследований кривизны поверхности тела спортсмена (трехмерная модель А12)

№ п/п	№ п/с	Поларные координаты сегментов п/с										Значение радиуса кривизны сегмента п/с											
		L ¹		L ²		L ³		L ⁴		L ⁵		L ⁶		L ⁷		R ¹	R ²	R ³	R ⁴	R ⁵	R ⁶	R ⁷	R ⁸
I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	L ¹	10	60	80	140	150	200	230	290							31,45	69,77	25,87	58,05				
2	L ²	20	70	100	120	170	180	250	280	320	350					44,84	68,05	47,59	44,52	75,49			
3	L ³	30	40	90	130	160	200	250	290							67,04	40,01	47,13	58,17				
4	L ⁴	10	70	90	140	170	230	250	280	320	360					87,67	59,53	61,81	69,83	50,12			
5	L ⁵	0	40	90	130	140	220									89,59	78,95	76,73					
6	L ⁶	0	40	70	140	150	210	230	300							73,88	81,87	75,78	60,11				
7	L ⁷	30	60	100	120	150	210	240	300	320	360					59,76	94,09	65,93	78,33	70,6			
8	L ⁸	10	70	100	140	140	230									83,45	93,36	99,18					
9	L ⁹	30	40	90	110	170	200									102,8	98,19	107,75					
10	L ¹⁰	30	70	100	110	170	180	250	290							93,35	120,85	111,83	61,04				
11	L ¹¹	0	50	100	140	170	180	240	270	310	360					109,57	106,63	76,41	103,53	49,34			
12	L ¹²	0	50	70	120	170	220	250	290	300	350					91,42	169,68	75,35	81,84	106,2			
13	L ¹³	0	20	60	70	70	90	290	310							190,43	210,91	209,92	143,19				
14	L ¹⁴	0	40	60	70	80	90	290	300	340	350					188,38	130,23	245,21	261,44	95,91			
15	L ¹⁵	0	30	60	60	70	80	290	310							205,04	259,29	195,72	252,09				
16	L ¹⁶	0	30	40	60	80	90	280	300							266,96	179,02	169,11	115,43				
17	L ¹⁷	10	30	40	70	70	80	290	300	340	360					167,14	121,95	133,92	217,45	199,37			
18	L ¹⁸	0	20	60	70	80	90	270	310							160,08	199,21	155,14	210,62				
19	L ¹⁹	0	40	60	70	70	90									155,58	265,82	179,83					
20	L ²⁰	0	20	40	60	80	80	280	310							203,59	287,95	214,07	246,32				
21	L ²¹	0	40	50	70	70	80	280	310	330	350					202,4	207,12	198,54	163,14	316,82			
22	L ²²	0	40	50	60	80	80	290	310	340	360					283,79	258,44	146,31	238,9	169,83			
23	L ²³	0	30	50	70	80	90	270	320							101,27	74,81	147,94	90,57				
24	L ²⁴	0	30	40	70	80	80									45,7	30,56	24,73					

Таблица В.17 – Результаты антропометрических исследований кривизны поверхности тела спортсмена (трехмерная модель A14)

№ п/п	№ п/с	Поларные координаты сегментов п/с										Значение радиуса кривизны сегмента п/с																
		L ₁ ¹		L ₁ ²		L ₁ ³		L ₁ ⁴		L ₁ ⁵		L ₁ ⁶		L ₁ ⁷		R ₁ ¹	R ₁ ²	R ₁ ³	R ₁ ⁴	R ₁ ⁵	R ₁ ⁶	R ₁ ⁷	R ₁ ⁸	R ₁ ⁹	R ₁ ¹⁰	R ₁ ¹¹		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24					
1	L ₁ ¹	30	40	100	140	170	200									42,07	55,49	49,74										
2	L ₁ ²	10	70	100	120	140	190	240	300							71,16	65,54	60,31	69,12									
3	L ₁ ³	10	60	70	140	150	230									47,46	62,42	76,09										
4	L ₁ ⁴	20	60	90	130	160	230									69,88	87,33	59,52										
5	L ₁ ⁵	30	70	100	120	160	220	240	300							87,67	68,27	74,13	61,98									
6	L ₁ ⁶	20	40	90	120	170	180									67,99	76,78	80,77										
7	L ₁ ⁷	30	60	90	120											86,76	86,6											
8	L ₁ ⁸	10	60	70	140	160	230	240	270							99,09	70,77	86,93	90,28									
9	L ₁ ⁹	10	40	80	110	170	220	260	300	320	350					62,5	109,46	75,05	106,28	98,92								
10	L ₁ ¹⁰	10	30	100	130	140	210									104,83	87,45	72,32										
11	L ₁ ¹¹	10	50	80	140	150	180									126,8	84,45	95,81										
12	L ₁ ¹²	20	30	90	120											152,3	115,94											
13	L ₁ ¹³	10	20	40	70	70	80									98,23	101,26	89,7										
14	L ₁ ¹⁴	10	30	50	70	80	90	280	310							103,09	132,17	129,04	200,37									
15	L ₁ ¹⁵	0	40	60	70	70	80	290	300	330	350					228,42	109,55	234,69	243,11	118,48								
16	L ₁ ¹⁶	10	30	60	70	70	80									186,13	152,43	222,34										
17	L ₁ ¹⁷	10	30	40	60	80	90									261,75	275,57	210,36										
18	L ₁ ¹⁸	0	20	60	70	70	90	280	320	340	350					228,75	196,08	164,25	226,69	210,01								
19	L ₁ ¹⁹	10	20	60	60	70	80	280	300							209,63	190,55	249,94	289,91									
20	L ₁ ²⁰	10	30	60	70	80	90	280	310							262,5	206,9	277,09	249,56									
21	L ₁ ²¹	0	40	40	60											270,46	186											
22	L ₁ ²²	10	40	60	70	70	80									159,72	182,89	232,79										
23	L ₁ ²³	10	20	50	70	70	90	280	310							166,89	116,15	67,09	102,41									
24	L ₁ ²⁴	10	30	60	60	70	90									24,67	43,55	30										

Таблица В.21 – Результаты антропометрических исследований кривизны поверхности тела спортсмена (трехмерная модель A18)

№ п/п	№ п/с	Поларные координаты сегментов п/с										Значение радиуса кривизны сегмента п/с																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
		L ¹					L ²					L ³					L ⁴					L ⁵					L ⁶					L ⁷					L ⁸					L ⁹					L ¹⁰					L ¹¹					L ¹²					L ¹³					L ¹⁴					L ¹⁵					L ¹⁶					L ¹⁷					L ¹⁸					L ¹⁹					L ²⁰					L ²¹					L ²²					L ²³					L ²⁴																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
1	L ₁ ¹	0	30	80	120	140	220																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	

Таблица В.22 – Результаты антропометрических исследований кривизны поверхности тела спортсмена (трехмерная модель A19)

№ п/п	№ п/с	Поперные координаты сегментов п/с																Значение радиуса кривизны сегмента п/с							
		L ¹		L ²		L ³		L ⁴		L ⁵		L ⁶		L ⁷		R ¹	R ²	R ³	R ⁴	R ⁵	R ⁶	R ⁷	R ⁸		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24		
1	L ¹	20	70	100	140	160	190	250	280	300	330					67,21	61,34	21,54	46,99	41,59					
2	L ²	20	50	70	140	140	220	260	290	310	350					57,93	40,35	70,6	42,42	63,34					
3	L ³	20	60	100	130	140	200	260	300							57,37	71,94	66,58	72						
4	L ⁴	30	70	70	130	150	210	230	290	310	360					85,29	66,02	52,52	59,27	84,03					
5	L ⁵	20	50	90	120	170	210	230	300							76,45	74,71	68,01	78,5						
6	L ⁶	20	70	70	130	170	200	250	270	310	330					62,74	78,75	80,38	62,47	76					
7	L ⁷	10	50	70	110	150	190	240	290	320	330					75,38	61,67	92,55	72,22	98,06					
8	L ⁸	30	30	80	110	140	180									78,14	91,27	92,68							
9	L ⁹	20	70	80	130	170	180	260	280							79,43	61,27	124,07	94,03						
10	L ¹⁰	10	40	90	110	170	210	240	290	320	360					128,82	46,39	51,84	47,81	54,88					
11	L ¹¹	0	40	100	140	150	220									58,44	94,71	113,95							
12	L ¹²	10	60	100	140	150	200	250	290							134,27	96,4	122,91	166,42						
13	L ¹³	10	40	50	60	70	80	270	320	330	360					171,63	117,63	98,95	90,43	203,11					
14	L ¹⁴	0	40	60	60	80	90	290	310							229,39	231,08	210,94	148,56						
15	L ¹⁵	0	40	40	70	70	90	280	300	340	360					106,47	221,64	223,38	256,29	102,37					
16	L ¹⁶	10	40	50	60	70	80	290	300	330	360					102,49	228,94	199,13	191,97	197,52					
17	L ¹⁷	0	30	60	60	70	90									192,85	140,12	236,54							
18	L ¹⁸	0	40	40	60	70	90	280	300							156,79	157,93	182,38	197,81						
19	L ¹⁹	0	40	50	70	70	90	290	310	330	350					271,45	281,11	265,34	274,13	134,78					
20	L ²⁰	0	40	50	60	80	80									214,98	256,32	131,25							
21	L ²¹	10	30	40	60	80	80	290	300							170,72	196,19	207,53	172,44						
22	L ²²	0	40	40	70	80	80	280	310							275,83	223,44	253,36	190,07						
23	L ²³	10	30	60	60	80	80	290	310	340	360					111,71	102,36	109,32	156,58	138,93					
24	L ²⁴	10	30	50	60	70	90									49,65	18,96	26,72							

Таблица В.23 – Результаты антропометрических исследований кривизны поверхности тела спортсмена (трехмерная модель A20)

№ п/п		№ п/с	Поперные координаты сегментов п/с										Значение радиуса кривизны сегмента п/с											
			L ¹		L ²		L ³		L ⁴		L ⁵		L ⁶		L ⁷		R ¹	R ²	R ³	R ⁴	R ⁵	R ⁶	R ⁷	R ⁸
I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
1	L ¹	0	30	100	140	160	200	260	270			61,57	62,28	36,14	37,42									
2	L ²	10	40	100	130	150	190	240	290	320	360					49,17	38,46	30,33	55,29	75,76				
3	L ³	10	60	100	110	170	230	260	300							56,39	77,86	41,17	59,84					
4	L ⁴	20	50	90	140	150	230	240	290	300	340					88,43	78,23	89,91	55,28	66,12				
5	L ⁵	10	50	70	120	150	220									85,91	74,74	78,64						
6	L ⁶	10	50	80	120	160	210	250	290	300	350					85,94	71,26	89,03	75,51	74,38				
7	L ⁷	0	50	100	130	150	210	250	290	310	330					70,4	52,47	88,1	94,46	64,42				
8	L ⁸																							
9	L ⁹	0	60	90	140	150	200	250	290							65,61	91,88	94,11	83,33					
10	L ¹⁰	10	50	70	140	170	180	260	300	300	340					66,16	61,48	109,48	76,07	80,25				
11	L ¹¹	20	60	80	110	160	190	250	300	300	360					119,97	48,55	46,95	81,16	122,65				
12	L ¹²	20	30	100	140	150	190									79,93	118,35	110,27						
13	L ¹³	30	50	80	120	160	220	260	290							91,4	108,85	146,81	129,11					
14	L ¹⁴	0	40	40	70	80	90	270	330	340	360					211,9	152,71	199,56	239,34	182,87				
15	L ¹⁵	0	40	60	70	70	80									152,16	133,78	157,27						
16	L ¹⁶	10	20	50	70	80	90	280	320							182,89	202,23	212,98	132,33					
17	L ¹⁷	10	40	40	70	80	90	280	300							80,15	122,08	172,23	246,09					
18	L ¹⁸	0	20	50	70	70	90	290	300							106,77	155,71	110,44	248,14					
19	L ¹⁹	0	20	40	60	80	90	270	320	330	350					243,17	120,94	134,96	106,7	137,06				
20	L ²⁰	0	40	60	70	80	80	290	300	340	350					284,27	248,16	116,64	193,7	127,89				
21	L ²¹	10	20	60	60	80	90									179,44	259,46	191,78						
22	L ²²	0	20	40	70	80	90	270	330							307,47	234,14	257,72	289,78					
23	L ²³	0	20	50	60	70	80	280	330							183,01	245,47	217,5	277,57					
24	L ²⁴	0	40	50	70	80	80	290	320	340	360					63,36	140,85	121,98	127,12	98,83				
		0	30	50	60	70	90									26,88	41,82	34,25						

Таблица В.26 — Результаты антропометрических исследований кривизны поверхности тела спортсмена (трехмерная модель А23)

№ п/п	№ п/с	Поларные координаты сегментов п/с										Значение радиуса кривизны сегмента п/с											
		L ¹		L ²		L ³		L ⁴		L ⁵		L ⁶		L ⁷		R ¹	R ²	R ³	R ⁴	R ⁵	R ⁶	R ⁷	R ⁸
		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	L ¹	20	30	80	140	150	180	260	290	300	340				56,7	44,06	32,65	44,74	38,28				
2	L ²	30	60	100	110	140	190	250	280						44,61	33,55	33,04	41,5					
3	L ³	30	70	100	110	170	220	260	300						63,66	71,38	61,47	54,98					
4	L ⁴	0	30	100	110	160	220	230	300						60,02	66,24	62,24	77,67					
5	L ⁵	0	30	90	120	150	200	230	280						65,62	64,22	64,1	65,61					
6	L ⁶	0	70	70	110	160	230	260	280	310	330				65,82	65,97	61,41	66,83	70,28				
7	L ⁷	30	30	80	110	160	200								73,85	83,99	58,44						
8	L ⁸	10	60	70	110	160	230	260	300						86	90,54	81,83	64,39					
9	L ⁹	10	50	80	140	160	220								119,08	100,33	100,67						
10	L ¹⁰	10	60	70	140	150	230	260	300						92,42	55,8	65,33	61,01					
11	L ¹¹	30	60	80	120	170	180	260	270	320	360				59,42	46,08	96,98	106,73	63,34				
12	L ¹²	10	70	100	120	150	230	260	300						158,88	56,6	120,26	93,65					
13	L ¹³	0	30	60	70	70	90	270	320	340	360				139,2	148,59	85,13	209,34	241,49				
14	L ¹⁴	10	20	60	70	80	90								165,25	130,33	135,61						
15	L ¹⁵	0	20	50	70	70	80	270	330						221,41	218,32	134,4	139,15					
16	L ¹⁶	0	30	60	60	70	80								187,78	174,3	238,83						
17	L ¹⁷	10	30	50	60	70	80	270	330						247,59	243,14	266,81	232,76	233,75				
18	L ¹⁸	10	20	40	70	70	80	270	330	330	350				92,13	171,94	193,3	219,46	90,83				
19	L ¹⁹	0	30	60	60	70	80	270	300						259,76	169,65	170,19	114,18					
20	L ²⁰	0	40	50	70	80	90	290	310						257,11	202,07	209,55	149,94					
21	L ²¹	0	40	50	60	70	90	290	330	330	360				268,47	218,41	193,52	218,41	216,99				
22	L ²²	0	40	50	60	80	90								173,38	204,14	238,27						
23	L ²³	10	20	60	70	80	90	290	300	340	350				68,65	103,88	148,9	103,89	141,27				
24	L ²⁴	10	40	50	60	70	90								49,07	42,46	37,05						

Таблица В.27 — Результаты антропометрических исследований кривизны поверхности тела спортсмена (трехмерная модель А24)

№ п/п	№ п/с	Поларные координаты сегментов п/с												Значение радиуса кривизны сегмента п/с																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
		L ¹			L ²			L ³			L ⁴			L ⁵			L ⁶			L ⁷			R ¹			R ²			R ³			R ⁴																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
<i>i</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>	<i>13</i>	<i>14</i>	<i>15</i>	<i>16</i>	<i>17</i>	<i>18</i>	<i>19</i>	<i>20</i>	<i>21</i>	<i>22</i>	<i>23</i>	<i>24</i>	<i>25</i>	<i>26</i>	<i>27</i>	<i>28</i>	<i>29</i>	<i>30</i>	<i>31</i>	<i>32</i>	<i>33</i>	<i>34</i>	<i>35</i>	<i>36</i>	<i>37</i>	<i>38</i>	<i>39</i>	<i>40</i>	<i>41</i>	<i>42</i>	<i>43</i>	<i>44</i>	<i>45</i>	<i>46</i>	<i>47</i>	<i>48</i>	<i>49</i>	<i>50</i>	<i>51</i>	<i>52</i>	<i>53</i>	<i>54</i>	<i>55</i>	<i>56</i>	<i>57</i>	<i>58</i>	<i>59</i>	<i>60</i>	<i>61</i>	<i>62</i>	<i>63</i>	<i>64</i>	<i>65</i>	<i>66</i>	<i>67</i>	<i>68</i>	<i>69</i>	<i>70</i>	<i>71</i>	<i>72</i>	<i>73</i>	<i>74</i>	<i>75</i>	<i>76</i>	<i>77</i>	<i>78</i>	<i>79</i>	<i>80</i>	<i>81</i>	<i>82</i>	<i>83</i>	<i>84</i>	<i>85</i>	<i>86</i>	<i>87</i>	<i>88</i>	<i>89</i>	<i>90</i>	<i>91</i>	<i>92</i>	<i>93</i>	<i>94</i>	<i>95</i>	<i>96</i>	<i>97</i>	<i>98</i>	<i>99</i>	<i>100</i>	<i>101</i>	<i>102</i>	<i>103</i>	<i>104</i>	<i>105</i>	<i>106</i>	<i>107</i>	<i>108</i>	<i>109</i>	<i>110</i>	<i>111</i>	<i>112</i>	<i>113</i>	<i>114</i>	<i>115</i>	<i>116</i>	<i>117</i>	<i>118</i>	<i>119</i>	<i>120</i>	<i>121</i>	<i>122</i>	<i>123</i>	<i>124</i>	<i>125</i>	<i>126</i>	<i>127</i>	<i>128</i>	<i>129</i>	<i>130</i>	<i>131</i>	<i>132</i>	<i>133</i>	<i>134</i>	<i>135</i>	<i>136</i>	<i>137</i>	<i>138</i>	<i>139</i>	<i>140</i>	<i>141</i>	<i>142</i>	<i>143</i>	<i>144</i>	<i>145</i>	<i>146</i>	<i>147</i>	<i>148</i>	<i>149</i>	<i>150</i>	<i>151</i>	<i>152</i>	<i>153</i>	<i>154</i>	<i>155</i>	<i>156</i>	<i>157</i>	<i>158</i>	<i>159</i>	<i>160</i>	<i>161</i>	<i>162</i>	<i>163</i>	<i>164</i>	<i>165</i>	<i>166</i>	<i>167</i>	<i>168</i>	<i>169</i>	<i>170</i>	<i>171</i>	<i>172</i>	<i>173</i>	<i>174</i>	<i>175</i>	<i>176</i>	<i>177</i>	<i>178</i>	<i>179</i>	<i>180</i>	<i>181</i>	<i>182</i>	<i>183</i>	<i>184</i>	<i>185</i>	<i>186</i>	<i>187</i>	<i>188</i>	<i>189</i>	<i>190</i>	<i>191</i>	<i>192</i>	<i>193</i>	<i>194</i>	<i>195</i>	<i>196</i>	<i>197</i>	<i>198</i>	<i>199</i>	<i>200</i>	<i>201</i>	<i>202</i>	<i>203</i>	<i>204</i>	<i>205</i>	<i>206</i>	<i>207</i>	<i>208</i>	<i>209</i>	<i>210</i>	<i>211</i>	<i>212</i>	<i>213</i>	<i>214</i>	<i>215</i>	<i>216</i>	<i>217</i>	<i>218</i>	<i>219</i>	<i>220</i>	<i>221</i>	<i>222</i>	<i>223</i>	<i>224</i>	<i>225</i>	<i>226</i>	<i>227</i>	<i>228</i>	<i>229</i>	<i>230</i>	<i>231</i>	<i>232</i>	<i>233</i>	<i>234</i>	<i>235</i>	<i>236</i>	<i>237</i>	<i>238</i>	<i>239</i>	<i>240</i>	<i>241</i>	<i>242</i>	<i>243</i>	<i>244</i>	<i>245</i>	<i>246</i>	<i>247</i>	<i>248</i>	<i>249</i>	<i>250</i>	<i>251</i>	<i>252</i>	<i>253</i>	<i>254</i>	<i>255</i>	<i>256</i>	<i>257</i>	<i>258</i>	<i>259</i>	<i>260</i>	<i>261</i>	<i>262</i>	<i>263</i>	<i>264</i>	<i>265</i>	<i>266</i>	<i>267</i>	<i>268</i>	<i>269</i>	<i>270</i>	<i>271</i>	<i>272</i>	<i>273</i>	<i>274</i>	<i>275</i>	<i>276</i>	<i>277</i>	<i>278</i>	<i>279</i>	<i>280</i>	<i>281</i>	<i>282</i>	<i>283</i>	<i>284</i>	<i>285</i>	<i>286</i>	<i>287</i>	<i>288</i>	<i>289</i>	<i>290</i>	<i>291</i>	<i>292</i>	<i>293</i>	<i>294</i>	<i>295</i>	<i>296</i>	<i>297</i>	<i>298</i>	<i>299</i>	<i>300</i>	<i>301</i>	<i>302</i>	<i>303</i>	<i>304</i>	<i>305</i>	<i>306</i>	<i>307</i>	<i>308</i>	<i>309</i>	<i>310</i>	<i>311</i>	<i>312</i>	<i>313</i>	<i>314</i>	<i>315</i>	<i>316</i>	<i>317</i>	<i>318</i>	<i>319</i>	<i>320</i>	<i>321</i>	<i>322</i>	<i>323</i>	<i>324</i>	<i>325</i>	<i>326</i>	<i>327</i>	<i>328</i>	<i>329</i>	<i>330</i>	<i>331</i>	<i>332</i>	<i>333</i>	<i>334</i>	<i>335</i>	<i>336</i>	<i>337</i>	<i>338</i>	<i>339</i>	<i>340</i>	<i>341</i>	<i>342</i>	<i>343</i>	<i>344</i>	<i>345</i>	<i>346</i>	<i>347</i>	<i>348</i>	<i>349</i>	<i>350</i>	<i>351</i>	<i>352</i>	<i>353</i>	<i>354</i>	<i>355</i>	<i>356</i>	<i>357</i>	<i>358</i>	<i>359</i>	<i>360</i>	<i>361</i>	<i>362</i>	<i>363</i>	<i>364</i>	<i>365</i>	<i>366</i>	<i>367</i>	<i>368</i>	<i>369</i>	<i>370</i>	<i>371</i>	<i>372</i>	<i>373</i>	<i>374</i>	<i>375</i>	<i>376</i>	<i>377</i>	<i>378</i>	<i>379</i>	<i>380</i>	<i>381</i>	<i>382</i>	<i>383</i>	<i>384</i>	<i>385</i>	<i>386</i>	<i>387</i>	<i>388</i>	<i>389</i>	<i>390</i>	<i>391</i>	<i>392</i>	<i>393</i>	<i>394</i>	<i>395</i>	<i>396</i>	<i>397</i>	<i>398</i>	<i>399</i>	<i>400</i>	<i>401</i>	<i>402</i>	<i>403</i>	<i>404</i>	<i>405</i>	<i>406</i>	<i>407</i>	<i>408</i>	<i>409</i>	<i>410</i>	<i>411</i>	<i>412</i>	<i>413</i>	<i>414</i>	<i>415</i>	<i>416</i>	<i>417</i>	<i>418</i>	<i>419</i>	<i>420</i>	<i>421</i>	<i>422</i>	<i>423</i>	<i>424</i>	<i>425</i>	<i>426</i>	<i>427</i>	<i>428</i>	<i>429</i>	<i>430</i>	<i>431</i>	<i>432</i>	<i>433</i>	<i>434</i>	<i>435</i>	<i>436</i>	<i>437</i>	<i>438</i>	<i>439</i>	<i>440</i>	<i>441</i>	<i>442</i>	<i>443</i>	<i>444</i>	<i>445</i>	<i>446</i>	<i>447</i>	<i>448</i>	<i>449</i>	<i>450</i>	<i>451</i>	<i>452</i>	<i>453</i>	<i>454</i>	<i>455</i>	<i>456</i>	<i>457</i>	<i>458</i>	<i>459</i>	<i>460</i>	<i>461</i>	<i>462</i>	<i>463</i>	<i>464</i>	<i>465</i>	<i>466</i>	<i>467</i>	<i>468</i>	<i>469</i>	<i>470</i>	<i>471</i>	<i>472</i>	<i>473</i>	<i>474</i>	<i>475</i>	<i>476</i>	<i>477</i>	<i>478</i>	<i>479</i>	<i>480</i>	<i>481</i>	<i>482</i>	<i>483</i>	<i>484</i>	<i>485</i>	<i>486</i>	<i>487</i>	<i>488</i>	<i>489</i>	<i>490</i>	<i>491</i>	<i>492</i>	<i>493</i>	<i>494</i>	<i>495</i>	<i>496</i>	<i>497</i>	<i>498</i>	<i>499</i>	<i>500</i>	<i>501</i>	<i>502</i>	<i>503</i>	<i>504</i>	<i>505</i>	<i>506</i>	<i>507</i>	<i>508</i>	<i>509</i>	<i>510</i>	<i>511</i>	<i>512</i>	<i>513</i>	<i>514</i>	<i>515</i>	<i>516</i>	<i>517</i>	<i>518</i>	<i>519</i>	<i>520</i>	<i>521</i>	<i>522</i>	<i>523</i>	<i>524</i>	<i>525</i>	<i>526</i>	<i>527</i>	<i>528</i>	<i>529</i>	<i>530</i>	<i>531</i>	<i>532</i>	<i>533</i>	<i>534</i>	<i>535</i>	<i>536</i>	<i>537</i>	<i>538</i>	<i>539</i>	<i>540</i>	<i>541</i>	<i>542</i>	<i>543</i>	<i>544</i>	<i>545</i>	<i>546</i>	<i>547</i>	<i>548</i>	<i>549</i>	<i>550</i>	<i>551</i>	<i>552</i>	<i>553</i>	<i>554</i>	<i>555</i>	<i>556</i>	<i>557</i>	<i>558</i>	<i>559</i>	<i>560</i>	<i>561</i>	<i>562</i>	<i>563</i>	<i>564</i>	<i>565</i>	<i>566</i>	<i>567</i>	<i>568</i>	<i>569</i>	<i>570</i>	<i>571</i>	<i>572</i>	<i>573</i>	<i>574</i>	<i>575</i>	<i>576</i>	<i>577</i>	<i>578</i>	<i>579</i>	<i>580</i>	<i>581</i>	<i>582</i>	<i>583</i>	<i>584</i>	<i>585</i>	<i>586</i>	<i>587</i>	<i>588</i>	<i>589</i>	<i>590</i>	<i>591</i>	<i>592</i>	<i>593</i>	<i>594</i>	<i>595</i>	<i>596</i>	<i>597</i>	<i>598</i>	<i>599</i>	<i>600</i>	<i>601</i>	<i>602</i>	<i>603</i>	<i>604</i>	<i>605</i>	<i>606</i>	<i>607</i>	<i>608</i>	<i>609</i>	<i>610</i>	<i>611</i>	<i>612</i>	<i>613</i>	<i>614</i>	<i>615</i>	<i>616</i>	<i>617</i>	<i>618</i>	<i>619</i>	<i>620</i>	<i>621</i>	<i>622</i>	<i>623</i>	<i>624</i>	<i>625</i>	<i>626</i>	<i>627</i>	<i>628</i>	<i>629</i>	<i>630</i>	<i>631</i>	<i>632</i>	<i>633</i>	<i>634</i>	<i>635</i>	<i>636</i>	<i>637</i>	<i>638</i>	<i>639</i>	<i>640</i>	<i>641</i>	<i>642</i>	<i>643</i>	<i>644</i>	<i>645</i>	<i>646</i>	<i>647</i>	<i>648</i>	<i>649</i>	<i>650</i>	<i>651</i>	<i>652</i>	<i>653</i>	<i>654</i>	<i>655</i>	<i>656</i>	<i>657</i>	<i>658</i>	<i>659</i>	<i>660</i>	<i>661</i>	<i>662</i>	<i>663</i>	<i>664</i>	<i>665</i>	<i>666</i>	<i>667</i>	<i>668</i>	<i>669</i>	<i>670</i>	<i>671</i>	<i>672</i>	<i>673</i>	<i>674</i>	<i>675</i>	<i>676</i>	<i>677</i>	<i>678</i>	<i>679</i>	<i>680</i>	<i>681</i>	<i>682</i>	<i>683</i>	<i>684</i>	<i>685</i>	<i>686</i>	<i>687</i>	<i>688</i>	<i>689</i>	<i>690</i>	<i>691</i>	<i>692</i>	<i>693</i>	<i>694</i>	<i>695</i>	<i>696</i>	<i>697</i>	<i>698</i>	<i>699</i>	<i>700</i>	<i>701</i>	<i>702</i>	<i>703</i>	<i>704</i>	<i>705</i>	<i>706</i>	<i>707</i>	<i>708</i>	<i>709</i>	<i>710</i>	<i>711</i>	<i>712</i>	<i>713</i>	<i>714</i>	<i>715</i>	<i>716</i>	<i>717</i>	<i>718</i>	<i>719</i>	<i>720</i>	<i>721</i>	<i>722</i>	<i>723</i>	<i>724</i>	<i>725</i>	<i>726</i>	<i>727</i>	<i>728</i>	<i>729</i>	<i>730</i>	<i>731</i>	<i>732</i>	<i>733</i>	<i>734</i>	<i>735</i>	<i>736</i>	<i>737</i>	<i>738</i>	<i>739</i>	<i>740</i>	<i>741</i>	<i>742</i>	<i>743</i>	<i>744</i>	<i>745</i>	<i>746</i>	<i>747</i>	<i>748</i>	<i>749</i>	<i>750</i>	<i>751</i>	<i>752</i>	<i>753</i>	<i>754</i>	<i>755</i>	<i>756</i>	<i>757</i>	<i>758</i>	<i>759</i>	<i>760</i>	<i>761</i>	<i>762</i>	<i>763</i>	<i>764</i>	<i>765</i>	<i>766</i>	<i>767</i>	<i>768</i>	<i>769</i>	<i>770</i>	<i>771</i>	<i>772</i>	<i>773</i>	<i>774</i>	<i>775</i>	<i>776</i>	<i>777</i>	<i>778</i>	<i>779</i>	<i>780</i>	<i>781</i>	<i>782</i>	<i>783</i>	<i>784</i>	<i>785</i>	<i>786</i>	<i>787</i>	<i>788</i>	<i>789</i>	<i>790</i>	<i>791</i>	<i>792</i>	<i>793</i>	<i>794</i>	<i>795</i>	<i>796</i>	<i>797</i>	<i>798</i>	<i>799</i>	<i>800</i>	<i>801</i>	<i>802</i>	<i>803</i>	<i>804</i>	<i>805</i>	<i>806</i>	<i>807</i>	<i>808</i>	<i>809</i>	<i>810</i>	<i>811</i>	<i>812</i>	<i>813</i>	<i>814</i>	<i>815</i>	<i>816</i>	<i>817</i>	<i>818</i>	<i>819</i>	<i>820</i>	<i>821</i>	<i>822</i>	<i>823</i>	<i>824</i>	<i>825</i>	<i>826</i>	<i>827</i>	<i>828</i>	<i>829</i>	<i>830</i>	<i>831</i>	<i>832</i>	<i>833</i>	<i>834</i>	<i>835</i>	<i>836</i>	<i>837</i>	<i>838</i>	<i>839</i>	<i>840</i>	<i>841</i>	<i>842</i>	<i>843</i>	<i>844</i>	<i>845</i>	<i>846</i>	<i>847</i>	<i>848</i>	<i>849</i>	<i>850</i>	<i>851</i>	<i>852</i>	<i>853</i>	<i>854</i>	<i>855</i>	<i>856</i>	<i>857</i>	<i>858</i>	<i>859</i>	<i>860</i>	<i>861</i>	<i>862</i>	<i>863</i>	<i>864</i>	<i>865</i>	<i>866</i>	<i>867</i>	<i>868</i>	<i>869</i>	<i>870</i>	<i>871</i>	<i>872</i>	<i>873</i>	<i>874</i>	<i>875</i>	<i>876</i>	<i>877</i>	<i>878</i>	<i>879</i>	<i>880</i>	<i>881</i>	<i>882</i>	<i>883</i>	<i>884</i>	<i>885</i>	<i>886</i>	<i>887</i>	<i>888</i>	<i>889</i>	<i>890</i>	<i>891</i>	<i>892</i>	<i>893</i>

Таблица В.28 – Результаты антропометрических исследований кривизны поверхности тела спортсмена (трехмерная модель A25)

№ п/п	№ п/с	Полярные координаты сегментов п/с										Значение радиуса кривизны сегмента п/с													
		L ¹	L ²		L ³	L ⁴		L ⁵	L ⁶	L ⁷	L ⁸	L ⁹	R ¹	R ²	R ³	R ⁴	R ⁵	R ⁶	R ⁷	R ⁸					
I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24		
1	L ₁ ¹	30	70	100	140	160	210	250	290							46,89	60,49	55,39	65,55						
2	L ₁ ²	10	60	70	130	150	180	260	280	310	330					64,36	54,41	53,74	52,08	34,2					
3	L ₁ ³		20	50	90	110	140	230	240	290						51,19	52,97	45,28	45,98						
4	L ₁ ⁴		30	60	80	110	150	230	230	290	300	330				88,23	70,45	52,5	62,14	71,37					
5	L ₁ ⁵		30	50	90	120	170	210								84,06	63,56	75,56							
6	L ₁ ⁶		10	60	80	110	170	190	230	290	320	330				78,86	78,49	71,37	62,05	69,3					
7	L ₁ ⁷		30	40	70	110	170	220	230	290						52,85	59,6	71,02	59,99						
8	L ₁ ⁸		0	30	70	120	160	200	240	270						85,42	69,1	85,63	94,98						
9	L ₁ ⁹		0	60	100	130	150	180	240	290	310	360				83,51	107,52	129,72	118,35	100,83					
10	L ₁ ¹⁰		30	60	70	110	150	200	230	270	300	330	360			119,55	70,53	104,91	40,19	91,17	119,55				
11	L ₁ ¹¹		30	60	90	110	150	180	230	300	310	340				76,8	45,55	90,46	40,66	124,14					
12	L ₁ ¹²		10	30	70	110	150	220								73,95	107,3	61,29							
13	L ₁ ¹³		0	30	40	70	80	80	290	310						156,27	227,16	197,85	134,43						
14	L ₁ ¹⁴		10	20	40	70	70	80	270	310	340	350				193,36	165,9	177,33	142,88	251,46					
15	L ₁ ¹⁵		10	40	60	60	80	80	290	300	300	330	350			252,22	158,74	167,03	192,48	156,06	252,22				
16	L ₁ ¹⁶		10	20	50	70	80	80	270	310	310	330	360			269,2	122,73	130,92	139,64	154,3	269,2				
17	L ₁ ¹⁷		0	30	40	60	70	90	270	310	340	350				253,18	197,26	272,39	197,41	108,64					
18	L ₁ ¹⁸		0	40	50	70	80	90	270	330						148,14	245,8	248,62	161,26						
19	L ₁ ¹⁹		10	30	50	70	80	80	280	330	330					193,82	241,09	191,21	245,02	186,56					
20	L ₁ ²⁰		10	30	60	60	70	80	270	300						256,16	261,16	160,63	212,62						
21	L ₁ ²¹		0	20	50	60	70	90	290	300						214,96	205,45	167,35	248,05						
22	L ₁ ²²		0	30	50	70	70	90	270	320	340	350				259,32	148,29	201,53	223,89	216,44					
23	L ₁ ²³		10	30	50	70	70	80	280	310						141,76	78,65	59,96	108,18						
24	L ₁ ²⁴		10	30	50	60	70	90								30,28	46,35	31,64							

Таблица В.29 – Результаты антропометрических исследований кривизны поверхности тела спортсмена (трехмерная модель А26)

№ п/п	№ п/с	Полярные координаты сегментов п/с												Значение радиуса кривизны сегмента п/с											
		L ¹		L ²		L ³		L ⁴		L ⁵		L ⁶		L ⁷		R ¹	R ²	R ³	R ⁴	R ⁵	R ⁶	R ⁷	R ⁸		
I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24		
1	L ¹	0	40	100	130	170	220	240	290	310	350					57,91	58,99	57,6	52,36	37,79					
2	L ²	20	60	90	130	160	200	240	280							47,37	74,23	77,47	46,23						
3	L ³	30	70	100	120	170	230	260	270	310	350					45,49	44,44	78,71	41,09	74,51					
4	L ⁴	0	30	90	140	150	200									61,13	55,35	66,89							
5	L ⁵	30	30	80	130	160	210									88,77	77,96	88,03							
6	L ⁶	10	70	80	110	160	200	250	280							77,73	86,25	73,11	78,13						
7	L ⁷	20	40	90	120	140	180	260	280	320	330					54,07	75,93	95,67	70,59	57,83					
8	L ⁸	20	40	100	120	170	200									74,58	81,36	84,31							
9	L ⁹	30	30	80	120	150	230	230	280	320	360					111,91	126,44	72,53	64,84	74,69					
10	L ¹⁰	0	70	80	140	140	190	230	290							53,38	59,89	63,22	101,45						
11	L ¹¹	20	70	70	140	170	200	250	270							52,4	98,75	107,64	127,75						
12	L ¹²	30	60	80	140	150	220	230	280	280	310	310	350			93,03	167,96	118,48	113,51	132,67	93,03				
13	L ¹³	0	30	50	70	70	90	280	310	330	360					176,71	205,73	234,28	143,56	163,73					
14	L ¹⁴	0	40	50	60	70	90	290	330	340	350					178,1	138,6	232,29	144,46	174,96					
15	L ¹⁵	0	20	60	70	80	80	290	310	310	340	340	350			166,62	263,88	266,94	145,29	149,77	166,62				
16	L ¹⁶	10	40	40	70	70	80	270	310	330	350					266,79	161,69	86,68	83,86	233,63					
17	L ¹⁷	0	40	40	70	70	90									178,04	166,3	121,79							
18	L ¹⁸	0	20	50	70	80	80	280	330	340	350					135,59	232,65	241,91	232,55	230,08					
19	L ¹⁹	0	20	40	70	80	80	280	300	300	320	330	360			140,14	214,17	261,8	192,24	242,87	140,14				
20	L ²⁰	0	30	40	60	70	90	290	300	340	350					201,63	239,6	176,77	233,22	185,24					
21	L ²¹	0	30	50	70	70	80	280	310	330	350					221,39	176,68	249,42	186,25	183,56					
22	L ²²	10	40	50	60	70	80	290	330							255,96	181,03	170,1	143,64						
23	L ²³	10	40	40	60	70	80	290	300							88,05	91,74	159,57	163,99						
24	L ²⁴	10	30	60	70	70	80									19,68	18,2	40,49							

Таблица В.30 — Результаты антропометрических исследований кривизны поверхности тела спортсмена (трехмерная модель А27)

№ п/п	№ п/с	Полные координаты сегментов п/с										Значение радиуса кривизны сегмента п/с																
		L ¹	L ²	L ³	L ⁴	L ⁵	L ⁶	L ⁷	L ⁸	L ⁹	L ¹⁰	L ¹¹	L ¹²	L ¹³	L ¹⁴	L ¹⁵	L ¹⁶	L ¹⁷	L ¹⁸	R ¹	R ²	R ³	R ⁴	R ⁵	R ⁶	R ⁷	R ⁸	
1	L ¹	10	40	90	140	150	230	230	290									49,58	58,38	60,93	58,87							
2	L ²	30	30	100	120	140	210											45,49	64,4	65,82								
3	L ³	30	30	100	140	170	200	260	280	300	360							46,7	62,35	51,55	71,54	53,82						
4	L ⁴	30	50	70	130	140	220	240	280	310	330							74,78	65,97	73,34	70,52	54,95						
5	L ⁵	0	70	70	140	140	200	250	300	310	360							83,52	71,49	86,05	88,29	83,65						
6	L ⁶	0	30	90	120	160	190	240	290									74,45	76,22	79,94	73,84							
7	L ⁷	20	70	70	140	140	210	230	300									81,76	68,14	61,02	79,02							
8	L ⁸	10	50	90	140	160	200	250	270	310	360							64,04	92,38	89,08	95,07	63,33						
9	L ⁹	10	40	80	130	170	220	250	280	310	350							76,41	73,85	118,09	128,8	107,9						
10	L ¹⁰	0	50	90	110	140	190	240	300	300	340			360				54,96	100,37	54,77	114,85	62,86	54,96					
11	L ¹¹	30	50	80	130	170	200	230	280	320	360							82,54	76,64	139,95	127	87,55						
12	L ¹²	30	70	100	110	160	210	230	300	310	340			360				135,75	50,33	157,33	122,44	62,68	135,75					
13	L ¹³	0	20	60	70	80	90	270	320	330	360							243,88	72,87	195,55	82,47	127,9						
14	L ¹⁴	0	20	40	70	80	80	270	320									196,7	169,32	91,95	118,82							
15	L ¹⁵	10	30	50	60	80	80	290	330	340	350							151,31	220,57	229,91	173,45	222,68						
16	L ¹⁶	0	40	50	60	80	90	270	330	340	350			360				104,36	208,1	243,47	121,19	262,09	104,36					
17	L ¹⁷	10	40	60	60	70	90	270	320	340	360							101,72	180,74	167,36	237,12	157,52						
18	L ¹⁸	0	20	60	60	70	80	290	320									155,76	152,9	90,36	211,53							
19	L ¹⁹	0	30	60	60	80	90	290	310									247,87	216,94	140,75	168,28							
20	L ²⁰	10	40	60	70	80	90	270	300	330	360							264	247,01	151,77	234,44	174,38						
21	L ²¹	10	30	40	70	80	90	270	330									201,36	301,1	261,97	276,39							
22	L ²²	0	20	50	70	70	80	280	300	340	360							148,18	183,99	152,99	267,46	183,28						
23	L ²³	10	20	40	70	70	90											147,34	163,36	142,67								
24	L ²⁴	10	40	40	70	80	80	280	330	340	350							41,22	20,88	29,51	28,8	28,47						

Таблица В.31 – Результаты антропометрических исследований кривизны поверхности тела спортсмена (трехмерная модель А28)

№ п/п	№ п/с	Полярные координаты сегментов п/с										Значение радиуса кривизны сегмента п/с													
		L ¹	L ²	L ³	L ⁴	L ⁵	L ⁶	L ⁷	L ⁸	L ⁹	L ¹⁰	L ¹¹	L ¹²	L ¹³	L ¹⁴	L ¹⁵	L ¹⁶	R ¹	R ²	R ³	R ⁴	R ⁵	R ⁶	R ⁷	R ⁸
1	L ¹	10	30	100	120	150	230											21,14	51,88	45,37					
2	L ²	10	70	90	120	150	180	230	270									67,52	40,16	32,54	78,68				
3	L ³	0	30	70	110	170	180											74,61	47,91	62,9					
4	L ⁴	30	70	90	130													70,16	80,48						
5	L ⁵	30	30	70	140	140	220	240	280									89,5	81,38	64,23	80,77				
6	L ⁶	30	50	80	120	140	200											81,01	81,84	60,64					
7	L ⁷	30	60	100	140	150	200											73,97	91,41	86,14					
8	L ⁸	30	30	70	140	160	210	250	290									68,86	82,08	73,61	92,86				
9	L ⁹	20	30	70	120													100,32	76,17						
10	L ¹⁰	30	70	90	140	160	220											80,77	64,58	79,16					
11	L ¹¹	20	50	100	110	150	230	230	290									85,48	124,64	79,33	61,15				
12	L ¹²	10	40	80	120													153,3	115,29	124,98	98,02				
13	L ¹³	10	40	50	60	80	90	270	300									147,5	232,5						
14	L ¹⁴	0	40	40	60	70	90											105,13	137,58	112,7					
15	L ¹⁵	0	20															144,75							
16	L ¹⁶	10	30	60	60	70	80	280	310									239,43	149,32	139,88	115,23				
17	L ¹⁷	0	20	60	70	70	80											170,25	262,9	185,92					
18	L ¹⁸	0	30	40	60	70	80	280	320									190,44	171,69	180,28	243,24				
19	L ¹⁹	0	20	50	70	70	90											181,04	114,65	234,44					
20	L ²⁰	10	40	40	70													243	155,06						
21	L ²¹	0	40															250,82							
22	L ²²	10	30	40	70	70	90	280	300	300	320	330	360					261,94	241,25	219,7	191,68	187,9	261,94		
23	L ²³	10	20	40	70	80	90	280	320	340	350							152,01	143,71	101,57	89,12	78,02			
24	L ²⁴	10	20	50	60	80	80	270	310									48,2	26,2	29,35	19,24				

Таблица В.36 — Результаты антропометрических исследований кривизны поверхности тела спортсмена (трехмерная модель А33)

№ п/п	№ п/с	Полярные координаты сегментов п/с														Значение радиуса кривизны сегмента п/с							
		L ₁ ¹		L ₂ ¹		L ₃ ¹		L ₄ ¹		L ₅ ¹		L ₆ ¹		L ₇ ¹		R ₁ ¹	R ₂ ¹	R ₃ ¹	R ₄ ¹	R ₅ ¹	R ₆ ¹	R ₇ ¹	R ₈ ¹
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	L ₁ ¹	20	40	70	130	170	230	250	300							66,19	29,41	56,81	46,8				
2	L ₂ ¹	30	50	80	130	150	190									69,8	32,58	33,34					
3	L ₃ ¹	20	30	70	110	150	180									63,11	57,85	73,21					
4	L ₄ ¹	10	50	70	110	150	210	250	270							87,2	81,92	78,38	82,74				
5	L ₅ ¹	10	50	80	140	150	190									81,09	65,03	74,83					
6	L ₆ ¹	10	40	70	130	160	200	250	290							78,54	68,17	77,31	61,45				
7	L ₇ ¹	20	30	100	110	140	180									71,2	62,34	58,48					
8	L ₈ ¹	0	40	100	130											98,18	61,05						
9	L ₉ ¹	10	60	80	110	140	180	230	300							75,97	129,41	99,62	77,47				
10	L ₁₀ ¹	0	40	80	130	150	220	230	280	320	360					65,03	76,07	105,11	124,42	87,44			
11	L ₁₁ ¹	10	60	100	110	140	220	230	290							70,14	136,62	77,92	130,74				
12	L ₁₂ ¹	10	40	90	140	160	220									90,29	148,46	96,32					
13	L ₁₃ ¹	0	40	60	60											219,89	201,17						
14	L ₁₄ ¹	0	40	40	60	80	90	290	310							243,08	150,33	84,63	186,31				
15	L ₁₅ ¹	0	30	40	70	80	80	270	300	340	350					266,48	166,03	236,89	209,66	269,52			
16	L ₁₆ ¹	10	40	50	60	80	80	270	310							251,66	110,78	198,6	110,78				
17	L ₁₇ ¹	10	40	40	60	80	90	270	310							190,41	217,18	270,7	233,95				
18	L ₁₈ ¹	0	20	50	60											115,43	121,7						
19	L ₁₉ ¹	10	40	60	60	70	80									250,77	179,42	238,6					
20	L ₂₀ ¹	0	40	50	70	80	90	270	310							138,73	190,26	204,25	191,89				
21	L ₂₁ ¹	0	30	60	60	70	90	270	310							300,29	290,9	298,74	165,77				
22	L ₂₂ ¹	10	20	40	60	80	80									179,12	249,95	205,71					
23	L ₂₃ ¹	10	30	50	60	70	80									121,17	135,05	138,32					
24	L ₂₄ ¹	0	30	40	70	70	90									34,44	26,27	33,29					

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Код программы для прогнозирования компрессионного давления трикотажной оболочки на тело (на основе численных методов)

Инструкции по установке

Для настройки потребуется код python 3. После этого необходимо открыть терминал и выполнить следующие инструкции:

- Установить pip3
Pip install pip
- Установить numpy
pip3 install numpy
- Установить matplotlib
pip3 install matplotlib
- Установить FeniCs (Выполнить следующие команды (для Ubuntu):
sudo apt-get install software-properties-common
sudo add-apt-repository ppa:fenics-packages/fenics
sudo apt-get update
sudo apt-get install fenics
- Установить dolfin
sudo apt update
sudo apt install python3-dolfin

Код программы

```
from dolfin import *
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
# Формируйте опции компилятора
parameters["form_compiler"]["cpp_optimize"] = True
parameters["form_compiler"]["optimize"] = True
# Определить сетку
mesh = BoxMesh(Point(0., 0., 0.), Point(1., 0.1, 0.04), 60, 10, 5)
# Поддомен для фиксации на левом конце
def left(x, on_boundary):
    return near(x[0], 0.) and on_boundary
# Поддомен для вращения на правом конце
def right(x, on_boundary):
    return near(x[0], 1.) and on_boundary
# Параметры эластичности
E = 1000.0
nu = 0.3
mu = Constant(E / (2.0*(1.0 + nu)))
lmbda = Constant(E*nu / ((1.0 + nu)*(1.0 - 2.0*nu)))
# Плотность вещества
rho = Constant(1.0)
# Коэффициенты демпфирования Рэлея
eta_m = Constant(0.)
eta_k = Constant(0.)
# Обобщенные параметры альфа-метода
alpha_m = Constant(0.2)
alpha_f = Constant(0.4)
gamma = Constant(0.5+alpha_f-alpha_m)
beta = Constant((gamma+0.5)**2/4.)
# Мы также определяем последнее время интервала, количество шагов времени и вычисляем
соответствующий интервал времени
# между двумя шагами:
# Параметры времени
T = 4.0
```

```

Nsteps = 50
dt = Constant(T/Nsteps)
p0 = 1.
cutoff_Tc = T/5
# Определить нагрузку как выражение, зависящее от времени
p = Expression(("0", "t <= tc ? p0*t/tc : 0", "0"), t=0, tc=cutoff_Tc, p0=p0, degree=0)
# Определите функциональное пространство для смещения, скорости и ускорения
V = VectorFunctionSpace(mesh, "CG", 1)
# Определить место функции для напряжений
Vsig = TensorFunctionSpace(mesh, "DG", 0)
# Тестовые и испытательные функции
du = TrialFunction(V)
u_ = TestFunction(V)
# Текущее (неизвестное) смещение
u = Function(V, name="Смещения ")
# Поля из предыдущего временного интервала (смещение, ускорение, скорость)
u_old = Function(V)
v_old = Function(V)
a_old = Function(V)
# Создайте функцию сетки по граням ячейки
boundary_subdomains = MeshFunction("size_t", mesh, mesh.topology().dim() - 1)
boundary_subdomains.set_all(0)
force_boundary = AutoSubDomain(right)
force_boundary.mark(boundary_subdomains, 3)
# Определить меру для интеграла граничного состояния
dss = ds(subdomain_data=boundary_subdomains)
# Установите граничное условие в левом конце
zero = Constant((0.0, 0.0, 0.0))
bc = DirichletBC(V, zero, left)
# Тензор напряжения
def sigma(r):
    return 2.0*mu*sym(grad(r)) + lmbda*tr(sym(grad(r)))*Identity(len(r))
# Форма масс
def m(u, u_):
    return rho*inner(u, u_)*dx
# Форма жесткости
def k(u, u_):
    return inner(sigma(u), sym(grad(u_)))*dx
# Диффузионная форма Рэлея
def c(u, u_):
    return eta_m*m(u, u_) + eta_k*k(u, u_)
# Работа внешних сил
def Wext(u_):
    return dot(u_, p)*dss(3)
# Обновление формулы для ускорения
# a = 1/(2*beta)*((u - u0 - v0*dt)/(0.5*dt*dt) - (1-2*beta)*a0)
def update_a(u, u_old, v_old, a_old, ufl=True):
    if ufl:
        dt_ = dt
        beta_ = beta
    else:
        dt_ = float(dt)
        beta_ = float(beta)
    return (u-u_old-dt_*v_old)/beta_/dt_**2 - (1-2*beta_)/2/beta_*a_old
# Обновление формулы для скорости
# v = dt * ((1-gamma)*a0 + gamma*a) + v0
def update_v(a, u_old, v_old, a_old, ufl=True):
    if ufl:
        dt_ = dt

```

```

    gamma_ = gamma
else:
    dt_ = float(dt)
    gamma_ = float(gamma)
    return v_old + dt_*((1-gamma_)*a_old + gamma_*a)
def update_fields(u, u_old, v_old, a_old):
    """Обновить поля в конце каждого временного интервала"""
    # Получить вектора (ссылки)
    u_vec, u0_vec = u.vector(), u_old.vector()
    v0_vec, a0_vec = v_old.vector(), a_old.vector()
    # Используйте функции обновления с использованием векторных аргументов
    a_vec = update_a(u_vec, u0_vec, v0_vec, a0_vec, ufl=False)
    v_vec = update_v(a_vec, u0_vec, v0_vec, a0_vec, ufl=False)
    # Обновить (u_old <- u)
    v_old.vector()[1:], a_old.vector()[1:] = v_vec, a_vec
    u_old.vector()[1:] = u.vector()
def avg(x_old, x_new, alpha):
    return alpha*x_old + (1-alpha)*x_new
# Остаток
a_new = update_a(du, u_old, v_old, a_old, ufl=True)
v_new = update_v(a_new, u_old, v_old, a_old, ufl=True)
res = m(avg(a_old, a_new, alpha_m), u_) + c(avg(v_old, v_new, alpha_f), u_) \
    + k(avg(u_old, du, alpha_f), u_) - Wext(u_)
a_form = lhs(res)
L_form = rhs(res)
# Определить решатель для повторного использования факторизации
K, res = assemble_system(a_form, L_form, bc)
solver = LUSolver(K, "mumps")
solver.parameters["symmetric"] = True
# Степпинг (время)
time = np.linspace(0, T, Nsteps+1)
u_tip = np.zeros((Nsteps+1,))
energies = np.zeros((Nsteps+1, 4))
E_damp = 0
E_ext = 0
sig = Function(Vsig, name="sigma")
xdmf_file = XDMFFile("elastodynamics-results.xdmf")
xdmf_file.parameters["flush_output"] = True
xdmf_file.parameters["functions_share_mesh"] = True
xdmf_file.parameters["rewrite_function_mesh"] = False
def local_project(v, V, u=None):
    """Element-wise projection using LocalSolver"""
    dv = TrialFunction(V)
    v_ = TestFunction(V)
    a_proj = inner(dv, v_)*dx
    b_proj = inner(v, v_)*dx
    solver = LocalSolver(a_proj, b_proj)
    solver.factorize()
    if u is None:
        u = Function(V)
        solver.solve_local_rhs(u)
        return u
    else:
        solver.solve_local_rhs(u)
        return
for (i, dt) in enumerate(np.diff(time)):
    t = time[i+1]
    print("Time: ", t)
    # Силы оцениваются в  $t_{n+1-\alpha_f}=t_{n+1}-\alpha_f*dt$ 

```



```

p.t = t-float(alpha_f*dt)
# Решить для нового смещения
res = assemble(L_form)
bc.apply(res)
solver.solve(K, u.vector(), res)
# Обновлять старые поля с новыми величинами
update_fields(u, u_old, v_old, a_old)
# Сохранить решение в XDMF-формате
xdmf_file.write(u, t)
# Вычислить напряжения и сохранить в файл
local_project(sigma(u), Vsig, sig)
xdmf_file.write(sig, t)
p.t = t
# Запись смещений и вычислить энергию
# Примечание: работает только в serial
if MPI.comm_world.size == 1:
    u_tip[i+1] = u(1., 0.05, 0.)[1]
    E_elas = assemble(0.5*k(u_old, u_old))
    E_kin = assemble(0.5*m(v_old, v_old))
    E_damp += dt*assemble(c(v_old, v_old))
    # E_ext += assemble(Wext(u-u_old))
    E_tot = E_elas+E_kin+E_damp #-E_ext
    energies[i+1, :] = np.array([E_elas, E_kin, E_damp, E_tot])
if MPI.comm_world.size == 1:
    # Вывести график смещений в реальном времени
    plt.figure()
    plt.plot(time, u_tip)
    plt.xlabel("Время")
    plt.ylabel("Смещения")
    plt.ylim(-0.5, 0.5)
    plt.show()
if (MPI.comm_world.rank == 0):
    # Вывести график энергий в реальном времени
    plt.figure()
    plt.plot(time, energies)
    plt.legend(("Эластичная", "Кинетическая", "Демпфирующая", "Общая"))
    plt.xlabel("Время")
    plt.ylabel("Энергии")
    plt.ylim(0, 0.0011)
    plt.show()

```

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Результаты исследования физико-механических характеристик трикотажных полотен с компрессионными свойствами

Поставленная в диссертационной работе цель прогнозирования компрессионного давления требует проведения исследований физико-механических и фрикционных свойств трикотажных полотен.

Изучение особенностей поведения трикотажных полотен при приложении нагрузочной и разгрузочной сил позволит получить результаты, на основе которых формируются рекомендации по конфекционированию материалов для спортивной одежды с точки зрения наилучшей компрессионной способности и устойчивости показателей физико-механических свойств материалов в процессе нагрузочного и разгрузочного циклов. Исследование фрикционных свойств текстильных материалов с повышенными адгезионными свойствами является критически важным моментом для проектирования высокофункциональных изделий спортивного назначения со свойствами, позволяющими повысить результативность показателей спортсмена.

Изучение механизмов фрикционного взаимодействия трикотажных полотен с поверхностью тела человека необходимо для формирования методики исследования текстильных композиционных материалов с повышенными адгезионными свойствами и методики выбора трикотажных полотен в зависимости от функций изделия.

Исследование физико-механических свойств трикотажных полотен

Поведение трикотажных полотен отличается от традиционных тканых материалов. Они отличаются гетерогенностью и анизотропностью механических свойств. При этом трикотажные полотна, применяемые при изготовлении компрессионных изделий, характеризуются отличными от традиционных трикотажных полотен показателями физико-механических свойств. Зависимости натяжений трикотажного полотна от величин растяжения являются нелинейными и характеризуются большими показателями гистерезиса. Для формирования методики исследования проведен анализ механизмов деформации трикотажных и тканых полотен.

Согласно обобщенному закону Гука для изотропного тела:

$$\sigma = E \varepsilon, \quad (1)$$

где σ - нормальное напряжение в поперечном сечении, E – модуль Юнга, ε - деформация материала.

$$\begin{aligned} \varepsilon_x &= \frac{1}{E} [\sigma_x - \mu(\sigma_y - \sigma_z)]; \\ \varepsilon_y &= \frac{1}{E} [\sigma_y - \mu(\sigma_z - \sigma_x)]; \\ \varepsilon_z &= \frac{1}{E} [\sigma_z - \mu(\sigma_x - \sigma_y)], \end{aligned} \quad (2)$$

где σ_{xyz} - нормальное напряжение в трех направлениях, ε_{xyz} – деформация материала в трех направлениях.

С учетом этого получаем выражение закона Гука для текстильных полотен:

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_{11} \\ \varepsilon_{22} \\ \varepsilon_{12} \end{bmatrix}_{\perp} = \begin{bmatrix} \frac{1}{E_1} & -\frac{\mu_{12}}{E_1} & 0 \\ -\frac{\mu_{12}}{E_2} & \frac{1}{E_2} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{G} \end{bmatrix}_{\perp} \begin{bmatrix} \sigma_{11} \\ \sigma_{22} \\ \sigma_{12} \end{bmatrix}_{\perp}, \quad (3)$$

где ε_{11} и ε_{22} - деформации полотна в плоскостных направлениях, σ_{11} и σ_{22} – нормальное напряжение в плоскостных направлениях, ε_{12} и σ_{12} - деформация полотна при сдвиге и нормальное напряжение, возникающее в поперечном сечении, E_1 и E_2 являются модулями Юнга в плоскостных направлениях, μ_{12} - коэффициент Пуассона, G - модуль сдвига. При этом, механические свойства текстильных материалов при эксплуатации можно описать:

$$\begin{bmatrix} M_{11} \\ M_{22} \\ M_{12} \end{bmatrix}_{\perp} = \begin{bmatrix} F_1 & 0 & 0 \\ 0 & F_2 & 0 \\ 0 & 0 & \tau_{12} \end{bmatrix}_{\perp} \begin{bmatrix} k_{11} \\ k_{22} \\ k_{12} \end{bmatrix}_{\perp}, \quad (4)$$

где с M_{11} , M_{22} , M_{12} – изгибающие моменты, F_1 , F_2 – поперечно-направленные силы, k_{11} , k_{22} и k_{12} – деформации изгиба.

Для проведения исследований физико-механических свойств трикотажных полотен в качестве образцов выбраны 11 коммерчески доступных полотен различного состава. Материалы выбраны в соответствии с требованием обеспечения разнообразия типов материалов, соотношений типов используемых волокон и видов переплетения. Структурные характеристики исследуемых образцов представлены в Таблице Д.1.

Таблица Д.1 – Структурные характеристики исследуемых трикотажных полотен

№ образца	Артикул	Волокнистый состав	Плотность, г/м ²	Переплетение
1	2	3	4	5
1	SP-M30	78 % нейлон, 22 % спандекс	150	трико
2	42-MESH	92 % нейлон, 8 % спандекс	90	трико
3	SP-V1900	85 % нейлон, 15 % спандекс	190	трико
4	SP-Q55	94 % ПЭ, 6 % спандекс	125	трико
5	SP-1013	84 % нейлон, 16 % спандекс	170	трико
6	P-600	83 % ПЭ, 17 % спандекс	200	трико
7	FM-60/FM-65	80 % нейлон, 20 % спандекс	200	трико
8	P-250	88 % ПЭ, 12 % спандекс	250	атлас
9	P-4000	70 % ПЭ, 30 % спандекс	275	трико
10	P-1500	77 % ПЭ, 23 % спандекс	250	трико
11	P-1200	82 % ПЭ, 18 % спандекс	218	трико

Физико-механические свойства исследуемых образцов испытаны в контролируемых условиях (температура 21° С, относительная влажность 65 ± 2%) после хранения в данных условиях в течение 24 часов. Механическое поведение всех образцов при больших деформациях (растяжение 0–250%) измерены с помощью универсального

устройства для испытания на растяжение Instron (Рис. 2.1) с двумя противоположно направленными зажимами (длина колеи 11,5 см и ширина зажимов 8 см) и постоянной скоростью растяжения 300 мм. мин⁻¹.

Результаты, полученные в процессе испытания на растяжения-деформации образцов исследуемых полотен в поперечном направлении представлены на графиках (Рис. Д.1). Кривые напряжение-деформация в цикле нагружения отображают интерактивную взаимосвязь между силами растяжения образцов (Н) и относительным удлинением (деформацией) испытанных образцов (%).

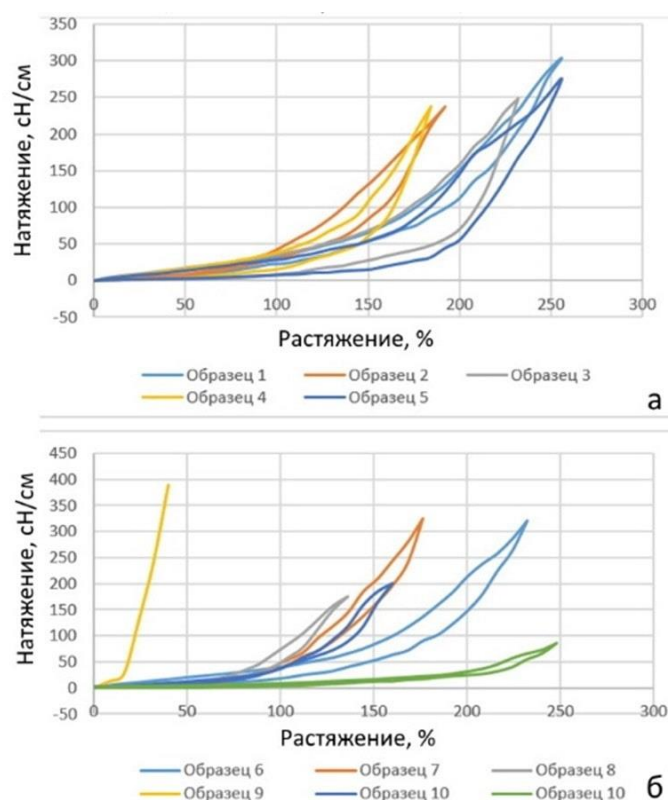


Рисунок Д.1 – Результаты исследования физико-механических характеристик трикотажных полотен с компрессионными свойствами (а – образцы 1-5, б – образцы 6-11)

Для дальнейшего анализа физико-механических свойств образцов исследуемых трикотажных полотен использовались три показателя:

- энергия растяжения (WT) в течении цикла нагрузки, равная площади под графиком кривой нагрузки (Рис. Д.2);
- линейность кривой растяжимости (LT), определяемая как отношение площади под графиком кривой нагрузки к площади треугольника ABC, где А - начальное относительное растяжение, В - конечное натяжение полотна, С - конечное относительное растяжение;
- упругость при растяжении RT, определяемая как площадь под графиком кривой разгрузки;

—отношение RT/WT , характеризующее гистерезис кривой нагрузки/разгрузки; определяется отношением энергии, выделяемой текстильным материалом в цикле разгрузки к энергии, выделяемой материалом в цикле нагрузки. Числовые значения показателей получены с помощью интегрирования уравнений аппроксимирующих кривых, полученных в циклах нагрузки/разгрузки трикотажных полотен.

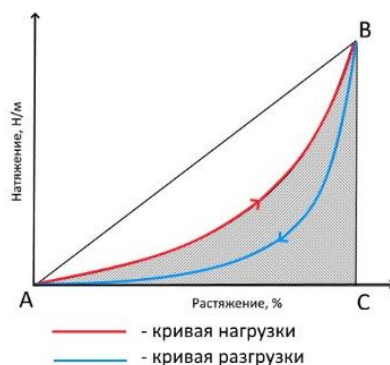


Рисунок Д.2 – График показателей физико-механических характеристик трикотажных полотен с компрессионными свойствами

Для расчета основных показателей (Табл. Д.2) использованы данные, представленные в виде графиков зависимости сил растяжения образцов (Н) и удлинения (деформаций) испытанных образцов, представленных на Рисунке Д.2.

Таблица Д.2 – Основные показатели физико-механических характеристик образцов трикотажных полотен с компрессионными свойствами

Номер образца	Энергия растяжения WT, Нм/м ²	Линейность кривой растяжимости LT	Эластичность RT, Нм/м ²	Отношение RT/WT
1	53967	0.690	48204	0.893
2	28170	0.617	23969	0.851
3	38760	0.673	28583	0.737
4	25440	0.582	21516	0.846
5	43980	0.624	35988	0.818
6	50510	0.680	46028	0.911
7	35080	0.613	32890	0.936
8	13040	0.547	12230	0.938
9	9265	0.597	-	-
10	20104	0.628	18144	0.903
11	9064	0.430	8432	0.930

По результатам полученных данных определено, что исследуемые образцы можно условно разделить на полотна с высокими (отношение RT/WT менее 0.8), средними (отношение RT/WT от 0.8 до 0.9) и низкими (отношение RT/WT более 0.9) показателями гистерезиса. Высокими показателями гистерезиса обладает образец 3. Образцы 1, 2, 4, 5 характеризуются средними показателями гистерезиса. К условной категории материалов с

низкими показателями гистерезиса отнесены образцы 6, 7, 8, 10, 11, при этом образец 9 разрушился до приложения разгрузочной силы и не был отнесен к какой – либо категории.

Наибольшей энергией растяжения обладают образцы 1, 3, 5, 6, 7, наименьшей – образцы 8, 9, 11. С целью выбора полотен, обладающих наибольшей компрессионной способностью рекомендованы образцы с наибольшей энергией растяжения.

При сжатии компрессионной оболочкой мягких тканей тела происходит уменьшение величин относительного растяжения оболочки, и таким образом, уменьшение натяжения трикотажного полотна и уменьшение прикладываемого давления. С целью повышения точности компрессионного воздействия, прикладываемого к телу человека со стороны трикотажной оболочки, рекомендованы образцы с наименьшим гистерезисом кривой нагрузки/разгрузки.

По итогам проведенного исследования физико-механических свойств трикотажных полотен получены полиномиальные зависимости (Табл. Д.3) физико-механических характеристик трикотажных полотен с компрессионными свойствами (растяжения, %) от величины прикладываемой нагрузки (сН/см).

Таблица Д.3 – Зависимости физико-механических характеристик трикотажных полотен с компрессионными свойствами (растяжения, %) от величины прикладываемой нагрузки (сН/см)

№ образца	Уравнение полиномиальной кривой	Величина достоверности аппроксимации R ²
1	$y = 0,0066x^2 - 0,687x + 20,345$	0,966
2	$y = 0,0095x^2 - 0,7335x + 13,511$	0,9616
3	$y = 0,0066x^2 - 0,7564x + 21,456$	0,8426
4	$y = 0,0107x^2 - 1,0267x + 21,851$	0,8923
5	$y = 0,0067x^2 - 0,8803x + 25,549$	0,8805
6	$y = 0,0089x^2 - 0,972x + 26,062$	0,9397
7	$y = 0,0167x^2 - 1,4022x + 21,349$	0,9712
8	$y = 0,0163x^2 - 1,0921x + 16,262$	0,9682
9	$y = 0,2991x^2 - 2,2286x + 1,4286$	0,9964
10	$y = 0,0128x^2 - 1,0077x + 17,020$	0,9572
11	$y = 0,002x^2 - 0,2719x + 8,4135$	0,9095

Зависимости получены автоматически в среде Excel в процессе обработки данных. Зависимости использованы в качестве исходной информации для математической модели распределения компрессионного давления одежды на тело спортсмена на основе энергетического принципа с целью учета деформационных характеристик трикотажных полотен. Использование данной модели позволит прогнозировать компрессионное давление одежды на тело спортсмена на стадии проектирования изделия (глава 2). Оценка величин достоверности аппроксимации показала высокую точность соответствия теоретического распределения данных реальному распределению.



Рисунок Д.3 – Образцы исследуемых трикотажных полотен с компрессионными свойствами

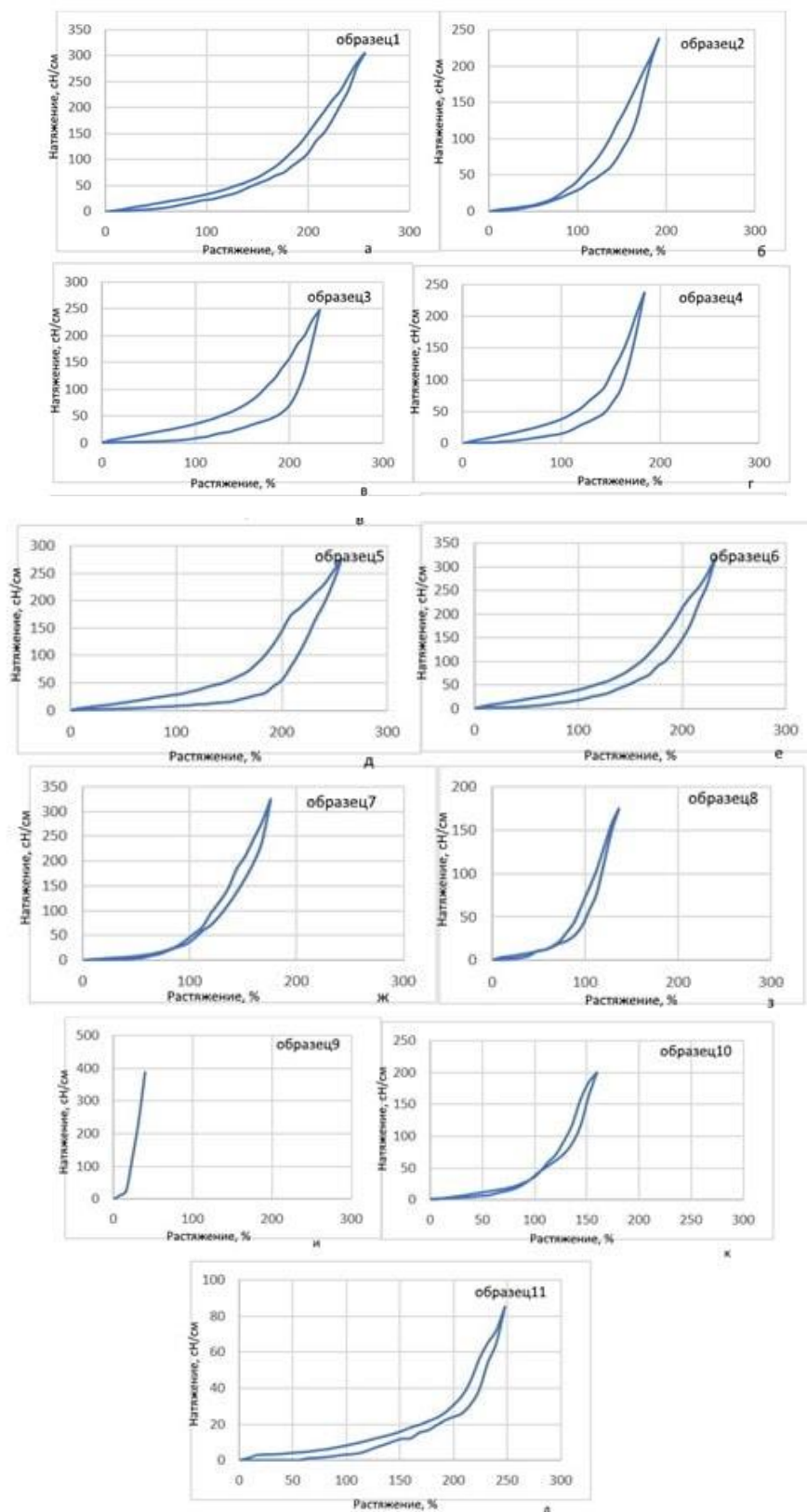


Рисунок Д.4 – Результаты исследования физико-механических характеристик трикотажных полотен с компрессионными свойствами: а) образец 1, б) образец 2, в) образец 3, г) - образец 4, д) - образец 5, е) - образец 6, ж) - образец 7, з) – образец 8; и – образец 9, к – образец 10, л - образец 11

Таблица Д.4 – Натяжение трикотажных полотен (Н/м) с компрессионными свойствами в зависимости от величин относительного растяжения

Величина относительного растяжения, %	Номер образца										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	2	2,1	4,2	3,6	3,6	4,8	2,2	3,2	12	2	1,2
16	4,2	3,4	7	6,2	5,5	7,9	3,1	4,3	26	3,9	2,8
24	7,5	4,4	9,1	8,3	7,6	10,5	4,5	5,6	128	5,5	3,1
32	10,1	5,6	11,5	10,7	9,1	13,2	5,5	7,1	240	7,2	3,2
40	12,1	7	14	13,4	11	16	6,7	8,6	388	9,5	3,5
48	15,2	8,2	16,5	15,8	13,3	19,1	8,2	10,5		11,5	4
56	17,7	11	19,4	18,7	15,6	21,9	10,5	12,2		13,6	4,3
64	20,8	13,8	21,8	21,7	18,1	24,6	12,8	16,2		15,8	4,7
72	23	17,9	24,3	24,4	20,4	27,1	16,8	22		18	5,4
80	25,6	23,8	27,2	28,1	23,2	30,3	21,6	32,5		21,2	5,9
88	28,7	31,2	30,2	31,8	25,2	33,7	28,6	44,4		26,2	6,8
96	31,8	37,6	33,4	36	27,8	37,4	40,3	63,8		32,1	7,7
104	35,2	47,8	37,2	41,2	29,5	41,6	53,6	83,4		42	8,7
112	39,5	58,7	41,1	48,2	33,7	47	67,8	104,2		58	9,7
120	44	69,5	45,4	55,8	36,9	52,6	95,8	130,7		70,5	10,9
128	49,7	83,1	51,3	67,2	42	57,6	118,5	157		92	12,2
136	54,5	99,2	56,1	77,2	46	65,8	144,7	175		117,6	13,3
144	60,7	118,7	62,8	90	49,4	74,5	184,2			157	14,6
152	67,7	135,8	70,3	115,3	56,1	86,3	210			184,3	16,2
160	77,3	155,4	79,6	138	63,1	99,2	245			200	18,1
168	87	175,8	91,2	167,5	71,5	116,1	280				19,6
176	100,3	196,5	106,2	204,3	85,2	135,6	325				21,5
184	115,2	215,6	119,9	237,2	100,7	158,4					23,4
192	130,6	237,8	139,9		120,9	182,6					26,3
200	151		157,9		145,4	213,2					30,6
208	172,3		182,8		172,6	237,2					35,7
216	192,8		200,3		185	257					44
224	214,3		227,8		200	285					56
232	232,5		247,9		215	320					65
240	260,1				230						72
248	285,4				252						85
256	304,2				275						
248	276,3				231,1						85
240	234,3				195,4						65
232	205,2		247,9		167,2	320					54
224	176,8		187,4		133,7	262,3					39
216	152,3		131,8		103,9	223,6					31
208	136,2		95,3		78,9	179,2					26
200	112,7		70,1		55,4	147,3					24
192	98,7	237,8	56,6		44,3	122,1					22,1
184	87,6	210,5	48	237,2	31,6	101,1					19,3
176	75,4	172,6	42,1	176,9	27,6	89,6	325				16,5
168	69,6	132,3	37,9	123,7	23,5	71,4	240,6				15,3
160	61,5	105,4	33,7	85,4	19,9	63,2	197,5			200	12,1
152	55,6	88,6	28,5	65,7	15,7	54,3	165,4			163,1	11,9
144	49,3	72,1	24,7	49,1	14,3	46,7	137,2			115,9	10,5
136	42,1	59,6	20,1	41,1	13,2	39,8	112,1	175		88,5	8,7
128	35,5	52,4	18,1	34,7	11,2	32,1	89,7	148,7		72,1	7,2
120	31,3	45,1	15,3	29,6	10,9	27,8	71,6	112,6		61,7	5,4
112	27,3	39,6	11,2	22,7	9	24,6	59,6	77,3		52,3	3,9
104	23,5	32,1	9,5	17,4	8,4	19,5	44,1	57,8		43,7	3,3
96	22,5	27,3	7,1	14,3	7,2	16,3	32,2	39,2		32,2	2,9
88	18,6	23,1	5,3	12,7	6,5	13,3	26,7	28,7		23,4	2,2
80	15,4	18,6	4,1	10,5	5,8	11,9	20,1	22,5		17,4	1,7
72	12,4	15,3	3,6	8,7	4,9	8,9	13,2	19,5		13,7	1,3
64	8,9	11,7	2,7	6,8	4,2	6,7	9,7	15,4		10,9	1,1
56	7	8,9	2,3	5,2	3,6	5,4	5,4	12,1		7,3	0
48	5,4	7,1	1,9	3,9	3,1	3,9	3,2	10,9		6,4	0
40	4,1	4,9	1,5	3,2	2,7	2,8	1,4	5,6		4,8	0
32	3,6	3,4	1,3	1,8	2,2	2,1	1,1	3,4		4,3	0
24	2,3	2,1	1	1,7	1,8	1,9	0	2,1		3,6	0
16	1,8	1,3	1	1,1	1,6	1,7	0	1,3		3,1	0
8	1,8	0	0	1,1	1,3	1,3	0	0		2,3	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0		1,9	0

Исследование фрикционного взаимодействия трикотажных полотен с поверхностью тела человека

В процессе эксплуатации, компрессионные изделия и поверхность тела человека взаимодействуют друг с другом, при этом главной характеристикой являются показатели фрикционных свойств трикотажных полотен. Чем выше показатели фрикционных характеристик, тем выше вероятность надежного закрепления изделия на теле спортсмена, что позволяет сохранить заданные параметры давления и распределение компрессионного давления в диапазоне, установленном на стадии проектирования новых моделей одежды.

Трение является одним из ключевых факторов, оказывающих влияние на тактильные ощущения, получаемые спортсменом в процессе тренировок от надетой на него спортивной одежды. Чем больше степень прилегания одежды, тем большее влияние имеют фрикционные характеристики на оценку носителем степени удобства одежды в эксплуатации. При этом трение проявляется не только при сдавливании компрессионной одеждой поверхности тела спортсмена (трение покоя), но и в динамических условиях.

Простейшим методом оценки коэффициента статического трения является наклонная плоскость. Показатели данного вида фрикционного взаимодействия измеряются при соскальзывании массы с плоскости, происходящее с постоянным увеличением угла наклона плоскости. При этом коэффициент трения в статике можно определить исходя из следующих уравнений:

$$\vec{F} + \overrightarrow{mg} = \vec{0} \quad (5)$$

$$N = mg \cos \alpha \quad (6)$$

$$F = mg \sin \alpha \quad (7)$$

$$\frac{F}{N} = \operatorname{tg} \alpha = f, \quad (8)$$

где f – статический коэффициент трения, F – сила трения (Н), N – нормальное давление (Н), m – масса образца (кг), g – ускорение свободного падения (м/с^2).

Коэффициент динамического трения возможно определить по следующей методике: исследуемый образец перемещают вдоль плоской поверхности. Сила, необходимая для перемещения по плоской поверхности, измеряется тензодатчиком. Коэффициент динамического трения можно записать в следующем виде:

$$\frac{F}{N} = f, \quad (9)$$

где N – сила реакции опоры (Н), F – тангенциальная сила (Н).

При выполнении спортсменами физических упражнений изделие смещается относительно опорной поверхности, вращается вокруг тела человека, поэтому степень интенсивности фрикционного взаимодействия может характеризоваться только

динамическим коэффициентом трения. Стоит отметить, что при эксплуатации компрессионного изделия из трикотажного или эластичного полотна, само полотно растягивается, или же наоборот, собирается. Например, при выполнении спортсменом приседаний трикотажное полотно растягивается в области передней поверхности коленного сустава, и собирается в области его задней поверхности. Растяжение полотна влияет на величину создаваемого им давления на поверхность тела человека, что сопровождается изменением коэффициента трения.

В работе поставлена цель исследовать фрикционное взаимодействие компрессионной спортивной одежды и поверхности тела человека. Для разработки методики определения показателей фрикционного взаимодействия трикотажных полотен и поверхности тела человека определена следующая последовательность действий:

- изучение принципа контактного взаимодействия трикотажных полотен с поверхностью тела человека;
- разработка математической модели контактного взаимодействия трикотажных полотен с поверхностью тела человека, представленная совокупностью выражений (3)-(10), для установления коэффициентов трения;
- разработка и изготовление прототипа, имитирующего сегменты человеческого тела, для исследования фрикционного взаимодействия одежды и поверхности тела человека;
- проведение исследования фрикционного взаимодействия одежды и поверхности тела человека с применением разработанного прототипа сегментов человеческого тела, результатом которого являются показатели коэффициентов трения прототипов опорной поверхности тела человека вокруг образцов трикотажных полотен.

Традиционно трение плоских образцов определяют в соответствии с законом Кулона-Амантона. Вместе с тем, для цилиндрических оболочек вращения, принимая за допущение не растяжимость нитей, трение определяют по известной формуле Эйлера [5]:

$$Q_c = Q_n e^{f\varphi} \quad (10)$$

где Q_2 – натяжение сбегающей нити, Q_1 – натяжение набегающей нити, f – коэффициент трения по Амантону, φ – угол обхвата.

Данная формула пригодна для расчета натяжений сбегающей, набегающей нити, а также их отношения при условии, что найденное отношение сбегающей нити к набегающей будет максимальной величиной, при которой тело будет находиться в покое, а при малейшем увеличении данного соотношения приведет к движению (начнет скользить). При этом коэффициент трения будет сохранять постоянное значение.

Приведенная формула Эйлера используется для расчета натяжений в динамическом состоянии, при условии, что вращается тело, а не нить, и вращение носит равномерный характер – с постоянной угловой скоростью (ускорение равно нулю), а также при отсутствии волнового проскальзывания материала о тело. Данную формулу применяют в расчетах по теоретической механике и машиностроению в задачах равномерного движения цилиндрического шкива о плоский ремень.

На практике фрикционное взаимодействие имеет сложную природу, обусловленную межмолекулярным взаимодействием соприкасающихся поверхностей (адгезионная составляющая). Трикотажные полотна имеют неоднородную шероховатую поверхность, которую можно представить в виде чередующихся выпуклостей и впадин, зависящих от структурных характеристик переплетения, а также не чередующихся (случайных) образований в виде пиллей, частиц волокон и т.д. При соприкосновении трикотажного полотна с другими поверхностями в точках контакта происходит воздействие сила F_1 и F_2 (Рис. Д.5), участки контакта испытывают деформации сжатия, передачу энергии по принципам распространения упругих волн, и последующее соскальзывание участков контакта друг с друга в направлении больших сил.

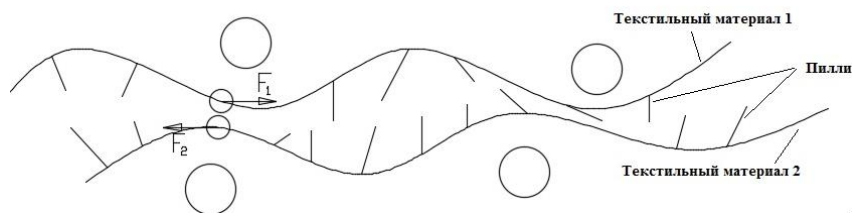


Рисунок Д.5 – Схема контактного взаимодействия двух образцов текстильных материалов

Данный вид трения возможно описать с помощью формул Кулона-Аматона-Эйлера. Но в тот же момент между двумя поверхностями возникает взаимодействие другого рода – межмолекулярного притяжения. Этот процесс препятствует увеличению молекулярного расстояния между участками контакта, препятствуя таким образом процессу соскальзывания, увеличивая при этом коэффициент трения.

С учетом этого преобразованная формула Эйлера приобретает вид:

$$Q_2 = e^{f\varphi}(Q_0 + p_0 S) = Q_1 e^{f\varphi} \quad (11)$$

где Q_2 – натяжение сбегающей нити, Q_0 – натяжение набегающей нити в результате кулоновского взаимодействия, p_0 – добавочное давление в результате межмолекулярного взаимодействия, S – площадь контакта, Q_1 – результирующее натяжение набегающей нити.

В результате коэффициент трения определяется по формуле:

$$f = \frac{\ln Q_2 - \ln(Q_0 + p_0 S)}{\varphi} = \frac{\ln Q_2 - \ln Q_1}{\varphi} \quad (12)$$

Поверхность тела, имеет некоторые особенности геометрического строения и физико-механических свойств.

Первой особенностью можно выделить сложную кривизну поверхности тела, при этом участки поверхности можно аппроксимировать с определенным отклонением поверхностями вращения различного рода: гиперboloидами, конусами, эллипсоидами. Для данных поверхностей к полученной формуле (3) применима формула Минакова [2]:

$$Q_2 = e^k(Q_0 + p_0 S) = Q_1 e^k \quad (13)$$

где

$$k = \int_0^\alpha \sqrt{\frac{f^2 - \left(\frac{dr}{dz}\right)^2}{1 + \left(\frac{dr}{dz}\right)^2}} d\varphi \quad (14)$$

где f – коэффициент трения по Амантону, r – функция образующей кривой, α – угол обхвата.

В результате преобразования, имеем:

$$f = \frac{\sqrt{2 \ln \frac{Q_2}{Q_1} \left(1 + \left(\frac{dr}{dz}\right)^2\right) + \left(\frac{dr}{dz}\right)^2}}{\alpha} \quad (15)$$

В нашем исследовании используем симметричные относительно оси z поверхности вращения, образующая которых имеет уравнение вида

$$r = A \sin^\beta x + B \quad (16)$$

поэтому окончательная формула принимает вид:

$$f = \frac{\sqrt{(-A\beta \cos \beta x)^2 \left(1 + 2 \ln \frac{Q_2}{Q_1}\right) + 2 \ln \frac{Q_2}{Q_1}}}{\alpha} \quad (17)$$

Второй особенностью являются низкие показатели жесткости поверхности тела человека. Среди главных характеристик физико-механических свойств выделяют модуль жесткости, модуль Юнга E и коэффициент Пуассона.

Тело человека имеет сложное внутреннее строение. Для целей данного исследования наиболее актуально рассмотреть строение опорно-двигательного аппарата человека.

Опорно-двигательная система состоит из костей, соединенных суставами (подвижными, малоподвижными и неподвижными) покрытых суставной сумкой. Сверху кости покрыты поперечно-полосатыми мышцами, которые прикрепляются к костям с помощью сухожилий. Мышцы покрывает подкожная жировая клетчатка и кожа, состоящая

из эпидермиса и собственно кожей. Схема строения тела человека представлена на примере схемы поперечного сечения в верхней трети бедра (Рис. Д.6). Все перечисленные составные части имеют свои показатели вышеперечисленных свойств.

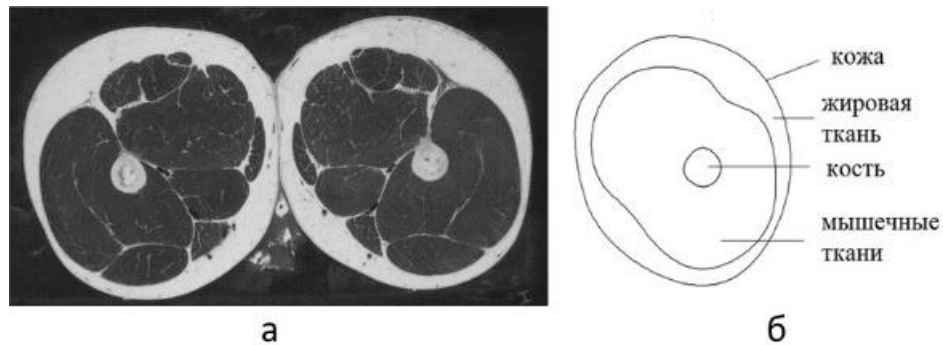


Рисунок Д.6 – Схема строения человека в верхней трети бедра: а) срез тела человека в области бедра; б) схема строения

Внутреннее строение человеческого тела обладает многокомпонентным строением и определить влияние физико-механических свойств внутренних элементов на внешнюю оболочку (поверхность кожи человека) задача нетривиальная. Для точной комплексной оценки наиболее целесообразным является проведение конечно-элементного анализа. Метод конечных элементов основан на задании свойств материалов структурных элементов напряженно-деформируемого тела, воздействующих сил (ускорения свободного падения, давления, различных нагрузок и закреплений), а также граничных условий, после чего производится численное решение в вариационной постановке или в виде системы дифференциальных уравнений в частных производных. В нашем исследовании произведено усреднение показателей физико-механических свойств в соответствии с объемной долей каждого составляющего элемента в конечном объеме сегмента человеческого тела.

Для исследования фрикционных характеристик изготовлены 2 прототипа, имитирующих сегменты человеческого тела (область бедра и тазовая область), аппроксимированные цилиндрической поверхностью вращения (Рис. Д.7, а) и гиперболоидом (Рис. Д.7, б).

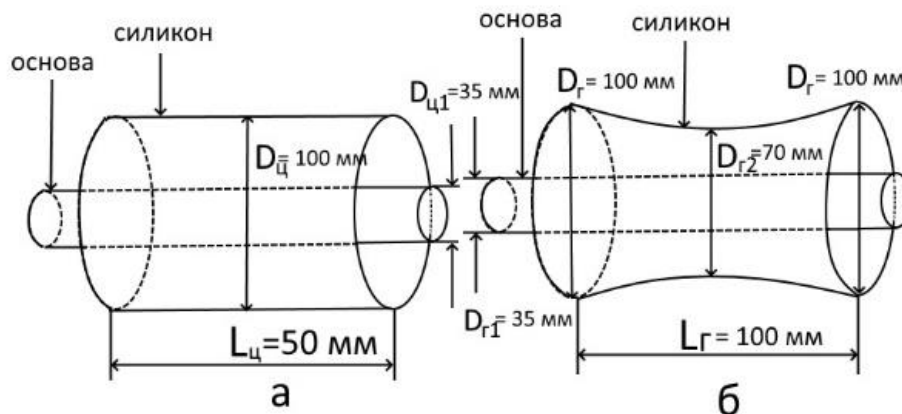


Рисунок Д.7 – Размеры прототипов сегментов человеческого тела, аппроксимированных цилиндрической поверхностью вращения и гиперboloидом:
а) вид сбоку прототипа в форме цилиндра; б) вид сбоку прототипа в форме гиперboloида

В качестве комплексного материала, имитирующего кожу человека, жировую прослойку и мышцы использован медицинский силикон, по модулю Юнга, жесткости (по Шору) и коэффициенту Пуассона практически совпадающий с соответствующими показателями элементов строения человеческого тела. Сравнительные характеристики физико-механических свойств сегмента человеческого тела и исследуемого прототипа представлены в Таблице 2.4.

Таблица Д.5 – Сравнительные характеристики физико-механических свойств сегмента человеческого тела и исследуемого прототипа

	Показатели физико-механических свойства	Кожа	Жир	Мышцы	Суставы	Кости
1	2	3	4	5	6	7
Тело человека		200-3000	0,5-25	0,75-6	50-1400	1500-15440
	Коэффициент Пуассона σ	0,3-0,5	0,4	0,5	0,45	0,3
	Модуль жесткости по Шору D	0-5	0-5	15	25	50
Силикон	Модуль Юнга E, кПа	300-1500			5400	
	Коэффициент Пуассона σ	0,5			0,3	
	Модуль жесткости по Шору D	10			40	

Для эксперимента подготовлены образцы трикотажных полотен шириной $L = 5$ см длиной $N = 25$ см, стачанные накладным швом с открытым срезом на плоскошовной машине для получения цилиндрической оболочки (Рис. Д.8). Относительная отрицательная прибавка конструкций образцов трикотажных оболочек составила 22% от размеров исходной формы.

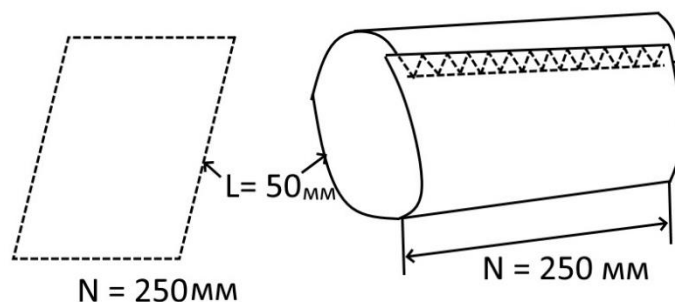


Рисунок Д.8 – Размеры образца трикотажной оболочки

При вращении прототипов сегментов человеческого тела о замкнутый образец трикотажного полотна произведена предварительная стабилизация структуры образца посредством нанесения на внешнюю сторону образца связующего материала – смывающегося клея KK100 Spray Adhesive (Gunold, Германия), для обеспечения отсутствия волнового проскальзывания трикотажного полотна о поверхность вращения. Для того, чтобы обеспечить статические условия самого образца трикотажного полотна произведено закрепление образца в 9 точках равномерно по окружности (каждые 40 градусов) на внешнюю раму. Для непосредственного закрепления использовали хлопковые нити.

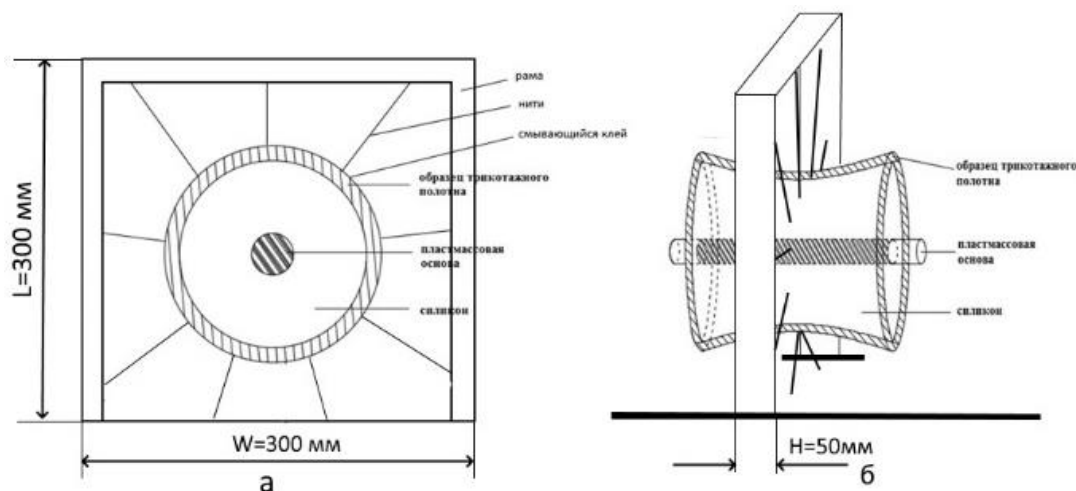


Рисунок Д.9 – Схемы прототипов сегментов человеческого тела, аппроксимированных цилиндрической поверхностью вращения и гиперboloидом:

а) вид спереди цилиндра и гиперboloида; б) вид сбоку прототипа в форме гиперboloида

Необходимо отметить, что при использовании смазок различного назначения (например, фармацевтических препаратов – гелей, мазей для уменьшения болей в мышцах, связках и суставах в процессе тренировки), при выделении пота спортсменом, а также при проведении тренировок в условиях повышения влажности (дождь, снег), в процессе контактного взаимодействия (возникновении трения) ключевую роль играет адгезионная

составляющая, что является вопросом, изучаемым в гидродинамической теории смазки. Поэтому для выполнения допущений, принятых в выражениях (3) – (10) обеспечивались условия сухого трения.

Основные характеристики образца трикотажного полотна, используемого для измерения показателей трения, а также используемого медицинского силикона представлены в Таблице Д.6, Таблице Д.7.

Таблица Д.6 – Структурные характеристики исследуемого образца трикотажного полотна

№ п/п	Наименование показателя	Значение показателя
1	2	3
1	Поверхностная плотность ткани, г/м ²	146,50
2	Линейная плотность нитей основы, текс	13,2
3	Линейная плотность нитей утка, текс	14,4
4	Число петельных рядов на 100 мм, шт	150
5	Число петельных столбиков на 100 мм, шт	120
6	Толщина ткани b, мм	0,752
7	Вид переплетения	трико
8	Волокнистый состав, %	100 % хлопок

Таблица Д.7 – Характеристики используемого медицинского силикона

№ п/п	Наименование показателя	Значение показателя
1	2	3
1	Цвет	полупрозрачный
2	Плотность при 23°С в воде	1,10 г/см ³
3	Твердость по Шору А	15
4	Прочность на разрыв	6,5 Н/мм ²
5	Удлинение при разрыве	900 %
6	Сопротивление на раздирание	15 Н/мм
7	Линейная усадка	<0,1 %

Измерение натяжений в образцах трикотажных оболочек осуществлялся с помощью пьезорезистивного силового сенсора. Для этого осуществлена калибровка устройства, получены калибровочная кривая (Рис. 2.8) и соответствующая ей функциональная зависимость:

$$y = 484.54x^{-1.2313} \quad (18)$$

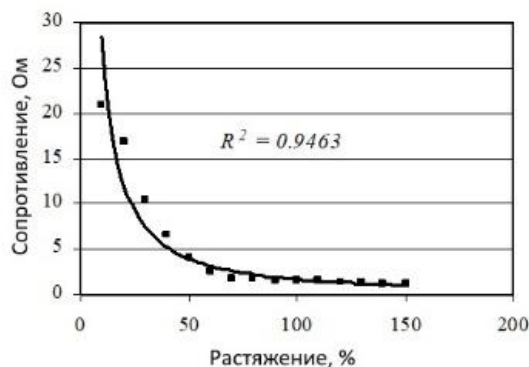


Рисунок Д.10 – Аппроксимированная зависимость сопротивления сенсора от величины нагрузки

После визуального наблюдения за вращательными движениями тела человека, посредством фиксации времени совершения человеком одного оборота руками, выявлен диапазон частот вращения. Границы диапазона установлены по максимальной и минимальной наблюдаемой частот вращения (минимальная частота вращения составила $0,083 \text{ с}^{-1}$, максимальная частота вращения составила $0,333 \text{ с}^{-1}$). Диапазон частот вращения в исследовании разделен на 4 равных промежутка. Углы обхвата трикотажным полотном опорной поверхности также определены в процессе визуального наблюдения за вращательными движениями тела человека. Границы диапазона углов обхвата определены на основе максимального возможного обхвата (360° (2π)) и минимального наблюдаемого угла обхвата (90° ($\pi/2$)).

Полученные значения натяжений и рассчитанные коэффициенты трения представлены в Таблице Д.8.

Таблица Д.8 – Показатели фрикционных характеристик трикотажных полотен

1	Тип обмотки вращения		Угол обхвата α , рад.											
			1			2			3			4		
			2 π			3 $\pi/2$			π			$\pi/2$		
			Натяжение сбег./набег. нити, сН		Коэф. трения	Натяжение сбег./набег. нити, сН		Коэф. трения	Натяжение сбег./набег. нити, сН		Коэф. трения	Натяжение сбег./набег. нити, сН		Коэф. трения
		<i>Частота вращения ω, с⁻¹</i>	Q ₂	Q ₁	f	Q ₂	Q ₁	f	Q ₂	Q ₁	f	Q ₂	Q ₁	f
2	Цилиндр	0,083	19.5	10.1	0,29	29.4	9.6	0,34	31.8	10.3	0,46	28.7	10.3	0,72
		0,111	21.7	10.6	0,19	33.5	9.8	0,31	35.8	10.7	0,43	31.7	10.3	0,68
		0,167	27.4	10.8	0,15	44.7	10.3	0,31	45.9	11.2	0,38	35.2	11.0	0,68
		0,333	53.8	11.3	0,12	55.8	10.5	0,31	56.3	11.6	0,37	40.2	11.2	0,58
3	Гиперболоид	0,083	20.3	9.7	0,35	30.8	9.8	0,44	32.5	10.8	0,63	28.2	10.4	0,91
		0,111	22.4	10.1	0,29	34.3	10.0	0,42	36.4	11.0	0,61	32.4	10.6	0,88
		0,167	26.9	10.4	0,26	46.2	10.4	0,42	47.5	11.2	0,57	36.5	11.1	0,88
		0,333	52.1	11.0	0,22	57.5	10.6	0,42	58.8	11.3	0,57	40.7	11.8	0,98

На Рис. Д.11 представлены зависимости значений коэффициента трения опорной поверхности цилиндрического (Рис. Д.11, а) и гиперболического (Рис. Д.11, б) типа образцы трикотажных полотен для различных углов обхвата при 4 частотах вращения.

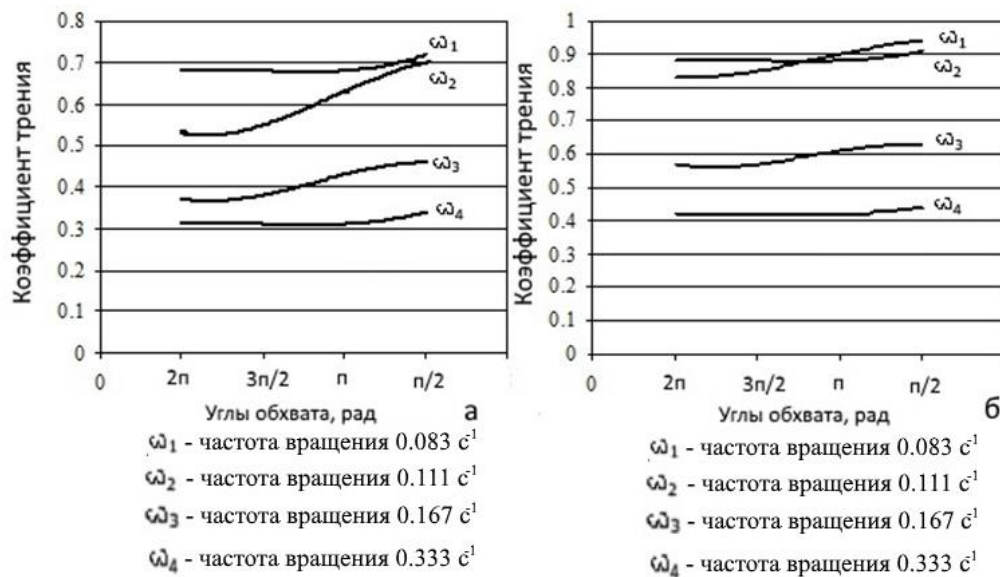


Рисунок Д.11 – График зависимости значений коэффициентов трения опорной поверхности вокруг образцов трикотажных полотен: а) цилиндрическая поверхность; б) гиперболоид

Анализ полученных данных свидетельствует о понижении значения коэффициента трения при увеличении частоты вращения, при этом резкое увеличение значения коэффициента происходит при увеличении частоты с $0,111 \text{ c}^{-1}$ на $0,333 \text{ c}^{-1}$. Влияние изменения угла обхвата на значения натяжения сбегающей части образца носит неоднозначный характер. Данное явление можно объяснить вышеприведенным механизмом действия сил трения, основанном на одновременном действии сил, направленных на преодоление элементов, вызвавших фрикционное взаимодействие и сил молекулярного притяжения соприкасающихся частиц.

Полученные данные необходимы для проектирования компрессионных изделий гетерогенных структур с уровнями компрессионного воздействия, соответствующим условиям эксплуатации.

ПРИЛОЖЕНИЕ Е

Автоматический отчет в ПО ANSYS о расчете напряженно-деформированного состояния системы «гетерогенная компрессионная оболочка с зонами гибридной эластичности – голень спортсмена»

Таблица Е.1 – Единицы измерения

Unit System	Metric (mm, kg, N, s, mV, mA) Degrees rad/s Celsius
Angle	Degrees
Rotational Velocity	rad/s
Temperature	Celsius

Таблица Е.2 – Геометрия модели

Model (B4, C4) > Geometry

Object Name	Geometry
State	Fully Defined
Definition	
Source	D:\Palkov\2_files\dp0\SYS-4\DM\SYS-4.agdb
Type	DesignModeler
Length Unit	Meters
Element Control	Program Controlled
Display Style	Body Color
Bounding Box	
Length X	146,03 mm
Length Y	359,71 mm
Length Z	168,06 mm
Properties	
Volume	3,6996e+006 mm ³
Mass	3,042 kg
Scale Factor Value	1,
Statistics	
Bodies	3
Active Bodies	3
Nodes	89989
Elements	47464
Mesh Metric	None
Basic Geometry Options	
Parameters	Independent
Parameter Key	
Attributes	Yes
Attribute Key	
Named Selections	Yes
Named Selection Key	
Material Properties	Yes
Advanced Geometry Options	
Use Associativity	Yes
Coordinate Systems	Yes
Coordinate System Key	
Reader Mode Saves Updated File	No
Use Instances	Yes
Smart CAD Update	Yes
Compare Parts On Update	No
Attach File Via Temp File	Yes
Temporary Directory	C:\Temp
Analysis Type	3-D
Decompose Disjoint Geometry	Yes
Enclosure and Symmetry Processing	Yes

Таблица Е.3 – Части

Model (B4, C4) > Geometry > Parts

Object Name	<i>Solid</i>
State	Meshed
Graphics Properties	
Visible	Yes
Transparency	1
Definition	
Suppressed	No
Stiffness Behavior	Flexible
Coordinate System	Default Coordinate System
Reference Temperature	By Environment
Behavior	None
Material	
Assignment	
Nonlinear Effects	Yes
Thermal Strain Effects	Yes
Bounding Box	
Length X	145,63 mm
Length Y	359,71 mm
Length Z	167,86 mm
Properties	
Volume	3,681e+006 mm ³
Centroid X	122,99 mm
Centroid Y	-912,95 mm
Centroid Z	226,3 mm
Moment of Inertia Ip1	2,6e+005 kg·mm ²
Moment of Inertia Ip2	55058 kg·mm ²
Moment of Inertia Ip3	2,6386e+005 kg·mm ²
Statistics	
Nodes	25102
Elements	15364
Mesh Metric	None

Таблица Е.4 – Группы тела

Model (B4, C4) > Geometry > Body Groups

Object Name	<i>Part</i>
State	Meshed
Graphics Properties	
Visible	Yes
Definition	
Suppressed	No
Assignment	Multiple Materials
Coordinate System	Default Coordinate System
Bounding Box	
Length X	146,03 mm
Length Y	263,05 mm
Length Z	158,03 mm
Properties	
Volume	18589 mm ³
Centroid X	124,69 mm
Centroid Y	-927,23 mm
Centroid Z	226,85 mm
Moment of Inertia Ip1	1044,8 kg·mm ²
Moment of Inertia Ip2	597,11 kg·mm ²
Moment of Inertia Ip3	1088,3 kg·mm ²
Statistics	
Nodes	64887
Elements	32100

Таблица Е.5 – Части тела

Model (B4, C4) > Geometry > Part > Parts

Object Name	Solid	Solid
State	Meshed	
Graphics Properties		
Visible	Yes	
Transparency	1	
Definition		
Suppressed	No	
Stiffness Behavior	Flexible	
Coordinate System	Default Coordinate System	
Reference Temperature	By Environment	
Behavior	None	
Material		
Assignment	Material shell 1	Material shell 2
Nonlinear Effects	Yes	
Thermal Strain Effects	Yes	
Bounding Box		
Length X	146,03 mm	27,977 mm
Length Y	263,05 mm	253,41 mm
Length Z	158,03 mm	77,887 mm
Properties		
Volume	16439 mm³	2150, mm³
Mass	0,12905 kg	1,6877e-002 kg
Centroid X	117,22 mm	181,85 mm
Centroid Y	-926,58 mm	-932,18 mm
Centroid Z	224,89 mm	241,78 mm
Moment of Inertia Ip1	952,14 kg·mm²	92,896 kg·mm²
Moment of Inertia Ip2	527,97 kg·mm²	2,7081 kg·mm²
Moment of Inertia Ip3	929,5 kg·mm²	90,757 kg·mm²
Statistics		
Nodes	57795	8103
Elements	28345	3755
Mesh Metric	None	

Таблица Е.6 – Координатная система

Model (B4, C4) > CoordCoordinate Systems > Coordinate System

Object Name	<i>Global Coordinate System</i>
State	Fully Defined
Definition	
Type	Cartesian
Coordinate System ID	0,
Origin	
Origin X	0, mm
Origin Y	0, mm
Origin Z	0, mm
Directional Vectors	
X Axis Data	[1, 0, 0,]
Y Axis Data	[0, 1, 0,]
Z Axis Data	[0, 0, 1,]

Таблица Е.7 – Области контакта

Model (B4, C4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	Contact Region	Contact Region 2	Contact Region 3
State	Fully Defined		
Scope			
Scoping Method	Geometry Selection		
Contact	71 Faces	15 Faces	19 Faces
Target	76 Faces	15 Faces	19 Faces
Contact Bodies	Solid		
Target Bodies	Solid		
Definition			
Type	Friction		
Scope Mode	Automatic		
Behavior	Program Controlled		
Trim Contact	Program Controlled		
Suppressed	No		
Advanced			
Formulation	Program Controlled		
Detection Method	Program Controlled		
Penetration Tolerance	Program Controlled		
Elastic Slip Tolerance	Program Controlled		
Normal Stiffness	Program Controlled		
Update Stiffness	Program Controlled		
Thermal Conductance	Program Controlled		
Pinball Region	Program Controlled		
Geometric Modification			
Contact Geometry Correction	None		
Target Geometry Correction	None		

Таблица Е.8 – Сетка

Display	
Display Style	Body Color
Defaults	
Physics Preference	Mechanical
Relevance	100
Element Midside Nodes	Program Controlled
Sizing	
Size Function	Adaptive
Relevance Center	Coarse
Element Size	7,0 mm
Initial Size Seed	Active Assembly
Transition	Fast
Span Angle Center	Coarse
Automatic Mesh Based Defeaturing	On
Defeature Size	Default
Minimum Edge Length	0,208170 mm
Quality	
Check Mesh Quality	Yes, Errors
Error Limits	Standard Mechanical
Target Quality	Default (0.050000)
Smoothing	Medium
Mesh Metric	None
Inflation	
Use Automatic Inflation	None
Inflation Option	Smooth Transition
Transition Ratio	0,272
Maximum Layers	5
Growth Rate	1,2
Inflation Algorithm	Pre
View Advanced Options	No
Advanced	
Number of CPUs for Parallel Part Meshing	Program Controlled
Straight Sided Elements	No
Number of Retries	Default (4)
Rigid Body Behavior	Dimensionally Reduced
Mesh Morphing	Disabled
Triangle Surface Mesher	Program Controlled
Topology Checking	No
Pinch Tolerance	Please Define
Generate Pinch on Refresh	No
Statistics	
Nodes	89989
Elements	47464

Таблица Е.9 – Анализ

Model (B4, C4) > Analysis	
Object Name	<i>Static Structural (C5)</i>
State	Solved
Definition	
Physics Type	Structural
Analysis Type	Static Structural
Solver Target	Mechanical APDL
Options	
Environment Temperature	22, °C
Generate Input Only	No

Таблица Е.10 – Настройки анализа

Model (B4, C4) > Static Structural (C5) > Analysis Settings

Object Name	<i>Analysis Settings</i>
State	Fully Defined
Step Controls	
Number Of Steps	1,
Current Step Number	1,
Step End Time	1, s
Auto Time Stepping	Program Controlled
Solver Controls	
Solver Type	Program Controlled
Weak Springs	Off
Solver Pivot Checking	Program Controlled
Large Deflection	Off
Inertia Relief	Off
Restart Controls	
Generate Restart Points	Program Controlled
Retain Files After Full Solve	No
Combined Restart Files	Program Controlled
Nonlinear Controls	
Newton-Raphson Option	Program Controlled
Force Convergence	Program Controlled
Moment Convergence	Program Controlled
Displacement Convergence	Program Controlled
Rotation Convergence	Program Controlled
Line Search	Program Controlled
Stabilization	Off
Output Controls	
Stress	Yes
Strain	Yes
Nodal Forces	No
Contact Miscellaneous	No
General Miscellaneous	No
Store Results At	All Time Points
Analysis Data Management	
Solver Files Directory	D:\2_files\dp0\SYS-5\MECH\
Future Analysis	None
Scratch Solver Files Directory	
Save MAPDL db	No
Delete Unneeded Files	Yes
Nonlinear Solution	No
Solver Units	Active System
Solver Unit System	nmm

Таблица Е.11 – Нагрузки

Model (B4, C4) > Static Structural (C5) > Loads

Object Name	<i>Fixed Support</i>
State	Fully Defined
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	1 Face
Definition	
Type	Fixed Support
Suppressed	No

Таблица Е.12 – Импорт нагрузок

Model (B4, C4) > Static Structural (C5) > Imported Load (B6)

Object Name	<i>Imported Load (B6)</i>
State	Fully Defined
Definition	
Type	Imported Data
Interpolation Type	Mechanical Results Transfer
Suppressed	No
Files Directory	D:\force-extension.xlsx

Таблица Е.13 – Решение

Model (B4, C4) > Static Structural (C5) > Solution

Object Name	<i>Solution (C6)</i>
State	Solved
Adaptive Mesh Refinement	
Max Refinement Loops	1,
Refinement Depth	2,
Information	
Status	Done
MAPDL Elapsed Time	123538, s
MAPDL Memory Used	3,2354 GB
MAPDL Result File Size	53,313 MB
Post Processing	
Beam Section Results	No

Таблица Е.14 – Информация о решении

Model (B4, C4) > Static Structural (C5) > Solution (C6) > Solution Information

Object Name	<i>Solution Information</i>
State	Solved
Solution Information	
Solution Output	Solver Output
Newton-Raphson Residuals	0
Identify Element Violations	0
Update Interval	2,5 s
Display Points	All
FE Connection Visibility	
Activate Visibility	Yes
Display	All FE Connectors
Draw Connections Attached To	All Nodes
Line Color	Connection Type
Line Thickness	Single
Display Type	Lines

Таблица Е.15 – Результаты

Model (B4, C4) > Static Structural (C5) > Solution (C6) > Results

Object Name	Equivalent Elastic Strain	Equivalent Stress
State	Solved	
Scope		
Scoping Method	Geometry Selection	
Geometry	All Bodies	
Definition		
Type	Equivalent Elastic Strain	Equivalent (von-Mises) Stress
By	Time	
Display Time	Last	
Calculate Time History	Yes	
Identifier		
Suppressed	No	
Integration Point Results		
Display Option	Averaged	
Average Across Bodies	No	
Results		
Minimum	2,1052e-006 mm/mm	0,19383 MPa
Maximum	0,73828 mm/mm	1,4766e+005 MPa
Minimum Occurs On	Solid	
Maximum Occurs On	Solid	
Information		
Time	1, s	
Load Step	1	
Substep	1	
Iteration Number	1	

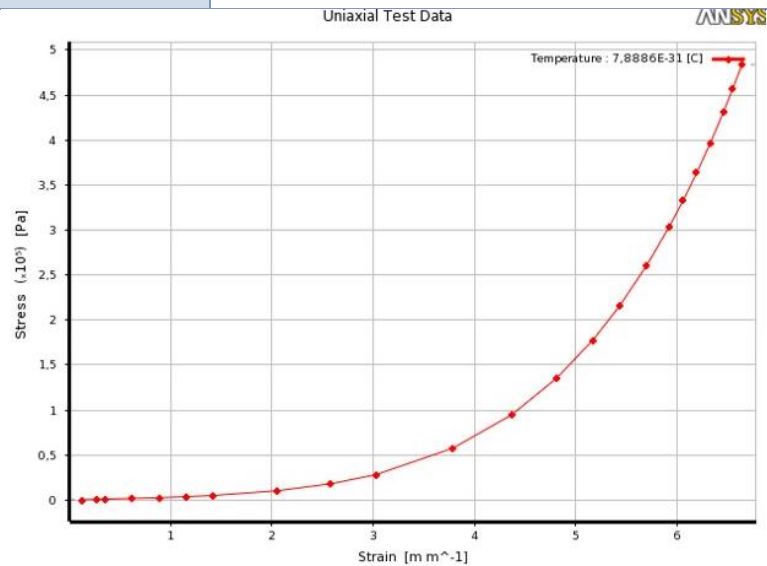


Рисунок Е.1 – Зависимость напряжение – деформация

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

Дополнительная антропологическая информация. Результаты биомеханических исследований

Нейрофизиологическое обоснование механизма повышения мышечной активности в процессе эксплуатации ВФКО

В основе повышения мышечной активности лежат несколько нейрофизиологических процессов: стимуляция проприорецепторов, в которые входят рецепторы мышечных веретен, вестибулярных рецепторов, рецепторы суставов, аппарат Гольджи; стимуляция экстерорецепторов, главным образом кожных рецепторов давления, слуховых и зрительных рецепторов для достижения сенсорной стимуляции. Другими причинами повышения мышечной активности является улучшение связи между мышцами и нервами для достижения двигательного ответа и некоторые другие.

Общий принцип повышения мышечной активности основан на выполнении последовательного нейрофизиологического процесса с помощью концентрационной способности нервных сигналов (явление конвергенции) и последующего явления дивергенции. Согласно Ч. Шеррингтону, лауреату Нобелевской премии в области физиологии и медицины, количественное преобладание чувствительных и других приходящих волокон над двигательными создает неизбежное столкновение импульсов в общем конечном пути, которым является группа мотонейронов и иннервируемые ими мышцы. Благодаря такому столкновению достигается блокирование всех воздействий, кроме одного, которое и регулирует протекание рефлекторной реакции. Принцип общего конечного пути, как один из принципов координации, применяется не только для спинного мозга, но и любого другого отдела центральной нервной системы (Рис. Ж.1 а).

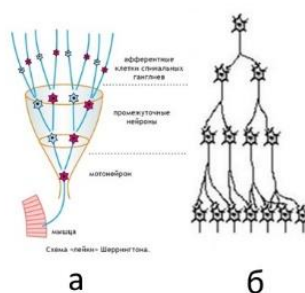


Рисунок Ж.1 – Принцип конвергенции (а) и дивергенции (б)

Дивергенция — это способность одного нейрона устанавливать многочисленные синаптические связи с разными нервными клетками. Благодаря дивергенции одна и та же нервная клетка может принимать участие в организации различных реакций и

контролировать большое количество нейронов. Распространение действия входящего сигнала происходит на все большее количество нейронов по мере того, как сигнал проходит через последовательный ряд нейронов (Рис. Ж.1, б).

Все поступающие сигналы по эфферентным (чувствительным) путям объединяются в одном месте, на одном мотонейроне (конвергенция), и далее с этого мотонейрона распространяются на множество других клеток (мышечные веретёна).

Дивергенция характерна для эфферентных путей — мотонейронов (двигательные нейроны). Один мотонейрон вместе со всеми мышечными волокнами, которые он иннервирует, называется двигательной единицей (ДЕ).

Активация механизмов конвергенции и дивергенции возможна в результате сенсорной стимуляции мышц, для обеспечения которой предложено обеспечить контурно-распределенное компрессионное воздействие трикотажной оболочки на тело спортсмена.

Формирование принципов проектирования высокофункциональной компрессионной одежды на основе работы миофасциальных цепей

Учитывая анатомическое строение тела человека, мышца крепится не непосредственно к кости, а через мышечное сухожилие к периосту в месте прикрепления к скелету (Рис. Ж.2). Помимо всего фасции, являются соединительной тканью и покрывают мышцы, образуя непрерывную фасциальную сеть, с формированием фасциальных и мышечных влагалищ. Среди функций фасций выделяют:

- обеспечение скольжения мышц;
- задание положения внутренних органов;
- передача движения от мышц к костям;
- обеспечение благоприятной и подвижной упаковки для нервов и кровеносных сосудов, когда они проходят через или между мышцами.

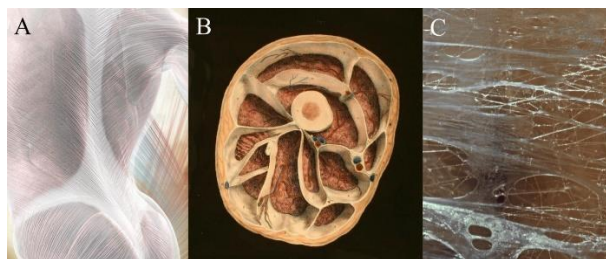


Рисунок Ж.2 – Схема расположения фасций в мышечной структуре: а) расположение на теле человека, б) расположение в поперечном сечении сегмента тела человека, с) образец фасциальной ткани

С конца XX века в научных кругах выдвигается гипотеза о возможности передачи напряжения, возникающего в мышечной системе, по единой фасциальной сети.

Полученные таким образом би- (в случае включения во взаимодействие сухожилий и связок – мультикомпонентной) компонентные наборы мышц и фасций получили термин «миофасциальные цепи».

В целом ряде случаев передача межмышечной силы экспериментально подтверждена и доказана. Так, учеными из Университета Гете (Франкфурт-на-Майне, Германия), опубликована статья в журнале «Journal of Anatomy», в которой проведен мета-анализ 1022 научных работ в области исследования межмышечной передачи силы через миофасциальные цепи. Согласно проведенному анализу установлено, что напряжение может передаваться между некоторыми из исследованных смежных миофасциальных структур. Передача силы может оказать влияние в условиях чрезмерного использования, например, в процессе спортивной нагрузки. Однако различные методы приложения силы и измерения затрудняют сопоставимость результатов. При этом решающее значение для интерпретации оказывает рассмотрение анатомических вариаций степени непрерывности и гистологических различий связывающих структур.

Существует два типа архитектуры: коллинеарный тип и перистый тип расположения мышечных волокон. На Рисунке Ж.3 представлены восемь подтипов мышечных волокон, среди которых пять относятся к коллинеарному типу: продольный (Рис. Ж.3 а), квадратно – ромбовидный (Рис. Ж.3 б), квадратно – треугольный (Рис. Ж.3 в), веерообразный (Рис. Ж.3 г), веретенообразный (Рис. Ж.3 д). К перистому типу относятся униперистые (Рис. Ж.3 е), биперистые (Рис. Ж.3 ж) и мультиперистые (Рис. Ж.3 з) подтипы мышечных волокон.

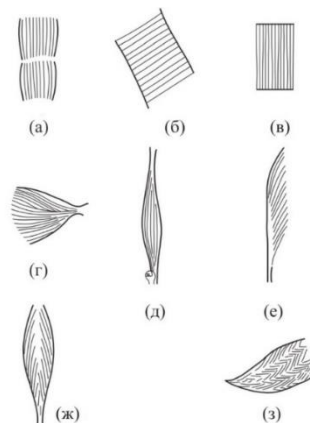


Рисунок Ж.3 – Подтипы мышечных волокон

Таблица Ж.1 – Результаты антропологического анализа задействованных мышц и суставов

№ п/п	Вид упражнения	Мышцы- двигатели	Мышцы- синергисты	Суставы	
				Сгибание	Разгибание
1	2	3	4	5	6
1	Упражнение с канатами	Брюшные мышцы Мышца, выпрямляющая позвоночник Большая ягодичная мышца Дельтовидная мышца (передняя дельтовидная мышца) Широчайшая мышца спины	Трапециевидная мышца Двуглавая мышца плеча Большая грудная мышца, реберный отдел Большая круглая мышца Мышцы задней поверхности бедра	Коленный	Тазобедренный
2	Переворот шины	Большая ягодичная мышца Дельтовидная мышца (передняя дельтовидная мышца) Широчайшая мышца спины		Тазобедренный	Коленный Тазобедренный
3	Упражнение с медицинским мячом	Наружная косая мышца живота Большая грудная мышца Большая ягодичная мышца Четырёхглавая мышца бедра	Внутренняя косая мышца живота Средняя ягодичная мышца Грушевидная мышца (вращатели бедра)	Тазобедренный	Коленный Тазобедренный
4	Подтягивания	Широчайшая мышца спины	Большая круглая мышца Дельтовидная мышца (задняя дельтовидная мышца) Большая грудная мышца, реберный отдел Трапециевидная мышца, внутренние пучки Плечевая мышца Плечелучевая мышца Двуглавая мышца плеча		

Продолжение таблицы Ж.1

1	2	3	4	5	6
5	Отжимания	Большая грудная мышца Дельтовидная мышца (задняя дельтовидная мышца) Брюшные мышцы	Трапециевидная мышца Дельтовидная мышца (передняя дельтовидная мышца) Трехглавая мышца плеча Передняя зубчатая мышца		
6	Гиперэкстензия	Большая поясничная мышца Брюшные мышцы	Прямая мышца бедра Напрягатель широкой фасции бедра	Коленный	
7	Ситап	Большая поясничная мышца Подвздошная мышца Брюшные мышцы	Прямая мышца бедра Портняжная мышца Напрягатель широкой фасции бедра	Тазобедренный Коленный	Коленный
8	Выпады	Четырехглавая мышца бедра Большая ягодичная мышца Средняя ягодичная мышца	Большая приводящая мышца Камбаловидная мышца Мышцы задней поверхности бедра Икроножная мышца Двуглавая мышца бедра (длинная головка) Полуперепончатая мышца Полусухожильная мышца	Коленный Тазобедренный	Коленный Тазобедренный
9	Турецкий подъем	Большая поясничная мышца Подвздошная мышца Брюшные мышцы			
10	Качели	Большая поясничная мышца Подвздошная мышца Брюшные мышцы			
11	Бросок мяча об стену	Четырехглавая мышца бедра Большая ягодичная мышца Дельтовидная мышца	Мышцы задней поверхности бедра Большая приводящая мышца Трапециевидная мышца, внутренние пучки Трапециевидная мышца, наружные пучки	Коленный	Коленный Тазобедренный

Продолжение таблицы Ж.1

1	2	3	4	5	6
12	Подъем вверх на канате	Трапецевидная мышца Дельтовидная мышца (передняя дельтовидная мышца) Трехглавая мышца плеча Передняя зубчатая мышца		Коленный	Тазобедренный Коленный
13	Плиометрический прыжок	Четырехглавая мышца бедра Большая ягодичная мышца		Коленный	
14	Берпи	Четырехглавая мышца бедра Большая ягодичная мышца Большая грудная мышца	Двуглавая мышца плеча Передняя зубчатая мышца Мышцы задней поверхности бедра Большая приводящая мышца	Коленный	Тазобедренный Коленный
15	Рывок	Четырехглавая мышца бедра Большая ягодичная мышца Икроножная мышца			
16	Выход на кольцах	Широчайшая мышца спины Трехглавая мышца плеча	Дельтовидная мышца, задняя дельтовидная мышца Большая круглая мышца Подвздошная мышца Большая поясничная мышца Большая грудная мышца Большая ромбовидная мышца	Тазобедренный	
17	Выброс	Четырехглавая мышца бедра Большая ягодичная мышца	Мышцы задней поверхности бедра Большая приводящая мышца Трапецевидная мышца, наружные пучки	Коленный	Тазобедренный Коленный

Продолжение таблицы Ж.1

1	2	3	4	5	6
18	Подтягивание с раскачкой	Широчайшая мышца спины	Плечевая мышца Плечелучевая мышца Двуглавая мышца плеча Большая круглая мышца Трапециевидная мышца Большая ромбовидная мышца Четырёхглавая мышца бедра Большая ягодичная мышца Икроножная мышца	Коленный	Коленный Тазобедренный
19	Взятие на грудь с медицинским мячом	Большая грудная мышца Большая ягодичная мышца	Четырёхглавая мышца бедра Большая приводящая мышца Камбаловидная мышца Мышцы задней поверхности бедра Икроножная мышца	Коленный	Тазобедренный Коленный
20	Становая тяга из стойки сумо с подъемом до уровня плеч	Большая ягодичная мышца	Четырёхглавая мышца бедра Большая приводящая мышца Камбаловидная мышца Мышцы задней поверхности бедра Икроножная мышца	Коленный	Тазобедренный Коленный
21	Становая тяга	Большая ягодичная мышца	Четырёхглавая мышца бедра Большая приводящая мышца Камбаловидная мышца Мышцы задней поверхности бедра Икроножная мышца Вращатели бедра	Коленный	Тазобедренный Коленный

Продолжение таблицы Ж.1

1	2	3	4	5	6
22	Толчковый швунг	Четырёхглавая мышца бедра Большая ягодичная мышца Икроножная мышца	Мышцы задней поверхности бедра Дельтовидная мышца Трапециевидная мышца Портняжная мышца	Коленный	Коленный Тазобедренный
23	Жимовой швунг	Большая ягодичная мышца Икроножная мышца	Дельтовидная мышца Трапециевидная мышца	Коленный	Коленный Тазобедренный
24	Жим штанги от плеч	Большая ягодичная мышца Икроножная мышца	Дельтовидная мышца Трапециевидная мышца Портняжная мышца	Коленный	Коленный Тазобедренный
25	Приседание со штангой над головой	Четырёхглавая мышца бедра Большая ягодичная мышца	Портняжная мышца Камбаловидная мышца Мышцы задней поверхности бедра Икроножная мышца Большая приводящая мышца	Коленный	Коленный Тазобедренный
26	Фронтальные приседания	Четырёхглавая мышца бедра Большая ягодичная мышца	Камбаловидная мышца Мышцы задней поверхности бедра Икроножная мышца	Коленный	Коленный Тазобедренный
27	Воздушные приседания	Четырёхглавая мышца бедра Большая ягодичная мышца	Камбаловидная мышца Мышцы задней поверхности бедра Икроножная мышца Большая приводящая мышца	Коленный	Коленный Тазобедренный
22	Толчковый швунг	Четырёхглавая мышца бедра Большая ягодичная мышца Икроножная мышца	Мышцы задней поверхности бедра Дельтовидная мышца Трапециевидная мышца Портняжная мышца	Коленный	Коленный Тазобедренный
23	Жимовой швунг	Большая ягодичная мышца Икроножная мышца	Дельтовидная мышца Трапециевидная мышца	Коленный	Коленный Тазобедренный

Таблица Ж.2 – Фазовые схемы движения фундаментальных упражнений в высокоинтенсивных функциональных тренировках (ВФГ)

№	Название упражнения	Фазовые схемы движений	№	Название упражнения	Фазовые схемы движений
1	2	3	4	5	6
1	Воздушные приседания		6	Точковый швунг	
2	Фронтальные приседания		7	Становая тяга	
3	Приседание со штангой над головой		8	Становая тяга из стойки с сумо с подъемом до уровня плеч	
4	Жим штанги от плеч		9	Взятие на грудь с медицинским мячом	
5	Жимовой швунг				

Таблица Ж.4 – Перечень дополнительных упражнений в ВФТ (часть 2)

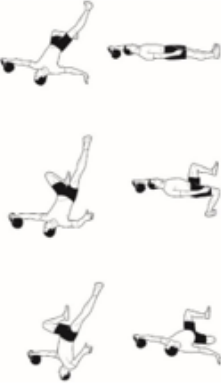
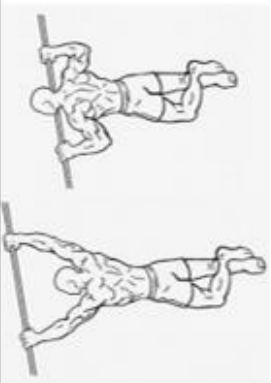
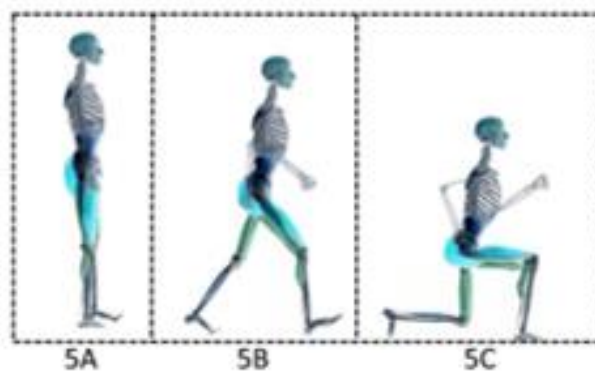
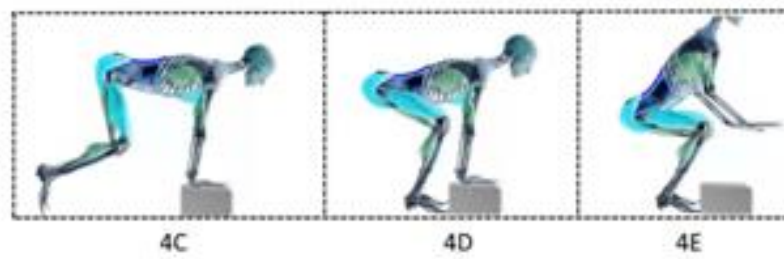
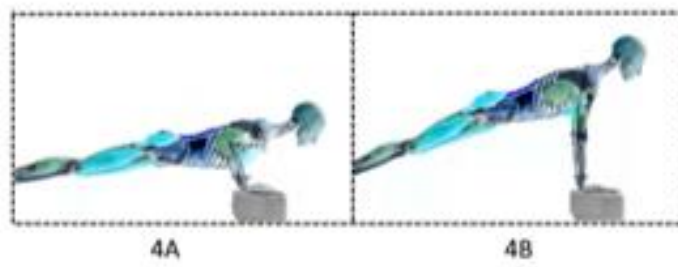
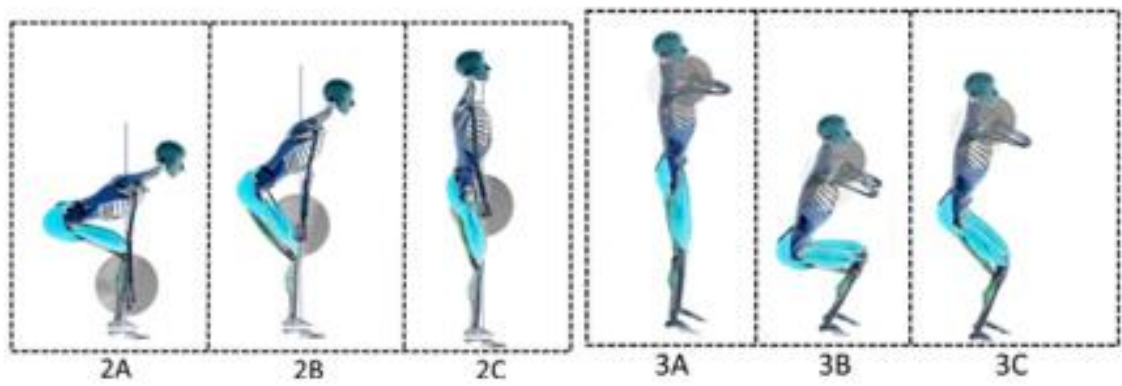
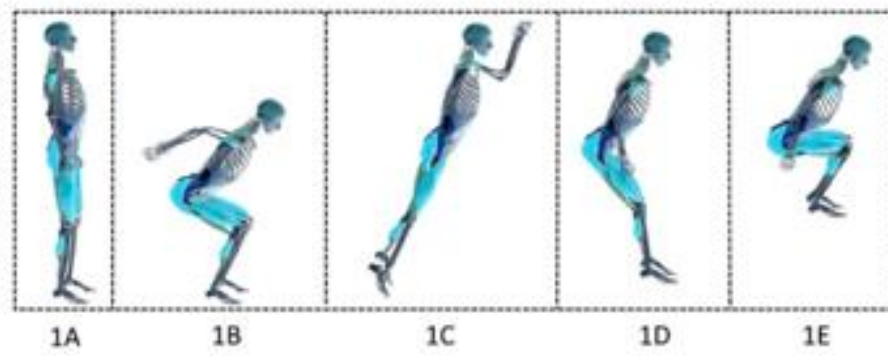
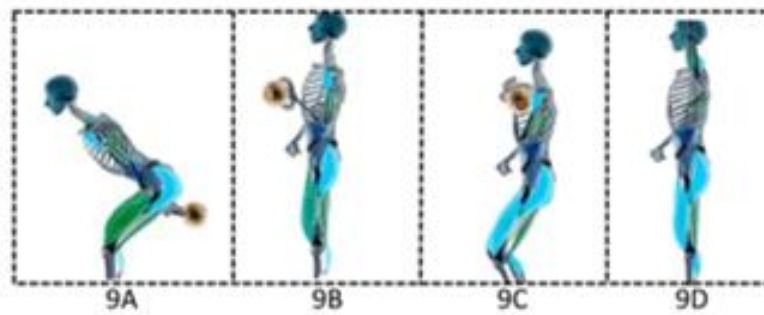
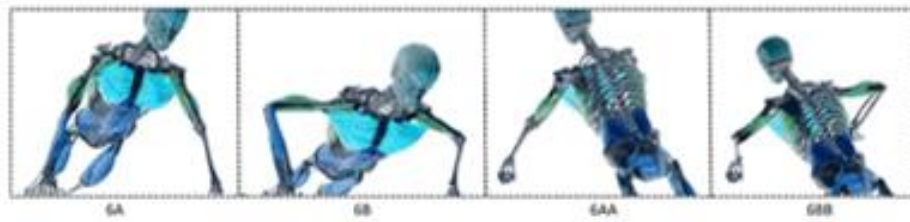
№	Название упражнения	Фазовые схемы движений	№	Название упражнения	Фазовые схемы движений
1	Берпи		4	6	
2	Плиометрический прыжок		7	Выпады	
3	Подъем вверх на канате		8	Ситап	
4	Бросок мяча об стену		9	Гиперэкстензия	
5	Качели				

Таблица Ж.5 – Перечень дополнительных упражнений в калистенике

№	Название упражнения	Фазовые схемы движений	№	Название упражнения	Фазовые схемы движений
1	Отжимания	3 	4	5 Переворот шины	6 
2	Подтягивания		5	Упражнение с канатами	
3	Упражнение с медицинским мячом				





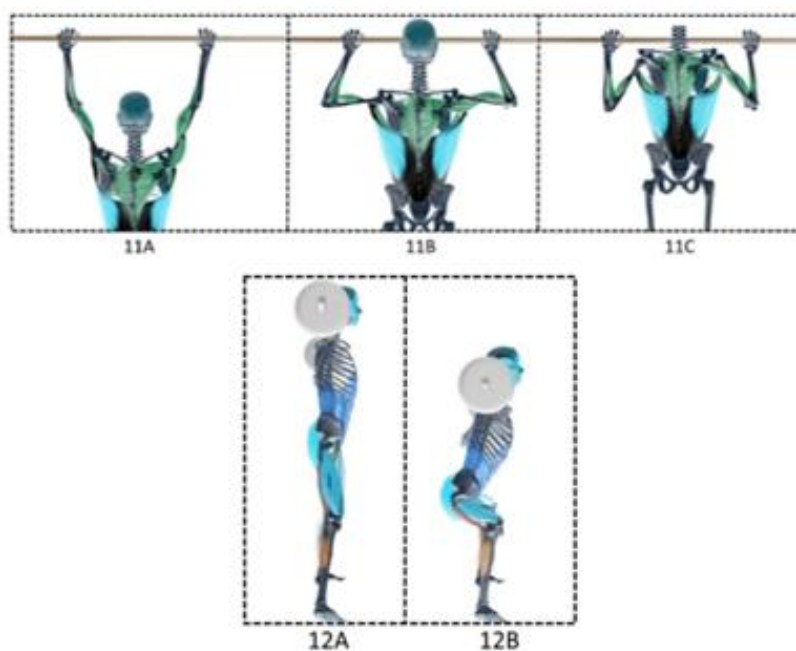


Рисунок Ж.4 - Фазовые схемы спортсмена в процессе выполнения спортивных упражнений, предназначенные для биомеханического анализа

Результаты биомеханического исследования взаимосвязи векторов сухожильных сил в качестве зависимостей вида G (абсолютные углы основной мышцы) = F (абсолютные углы дополнительных мышц)

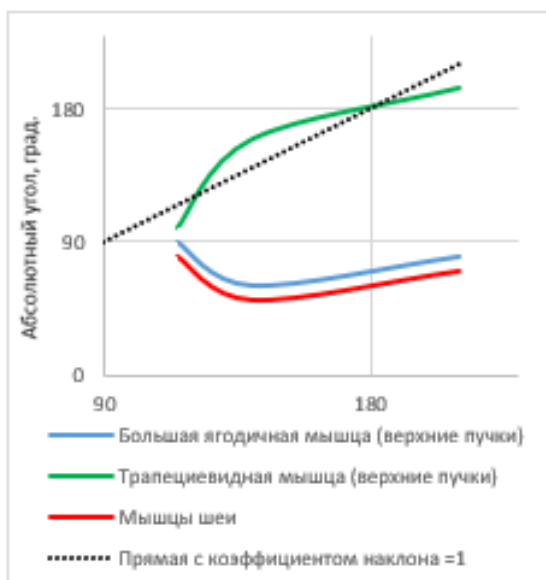


Рисунок Ж.5 - Упражнение 1 (прыжки в длину)

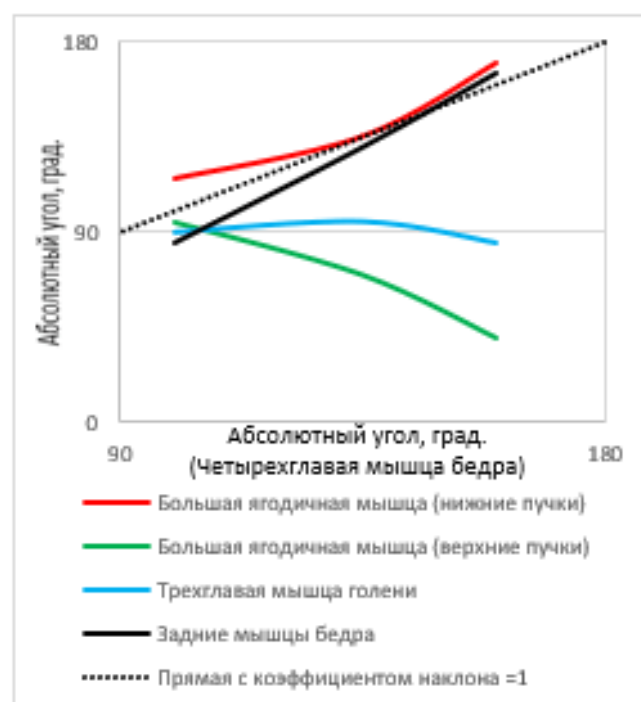


Рисунок Ж.6 - Упражнение 1 (прыжки в длину)

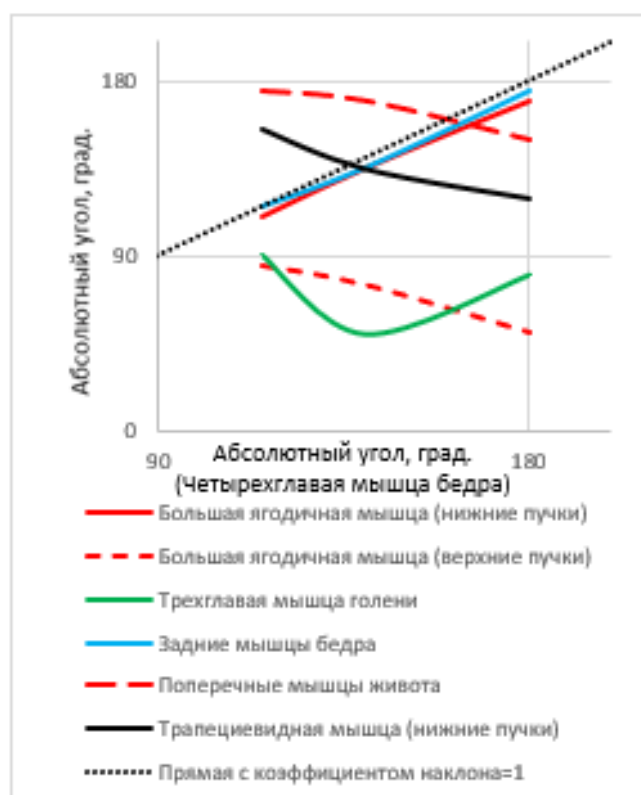


Рисунок Ж.7 - Упражнение 2 (становая тяга)

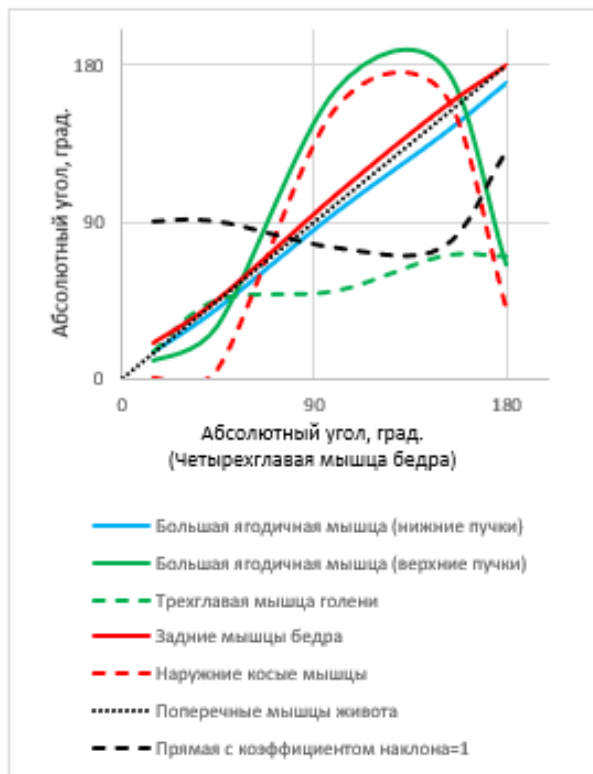


Рисунок Ж.8 - Упражнение 3 (бёрпи)

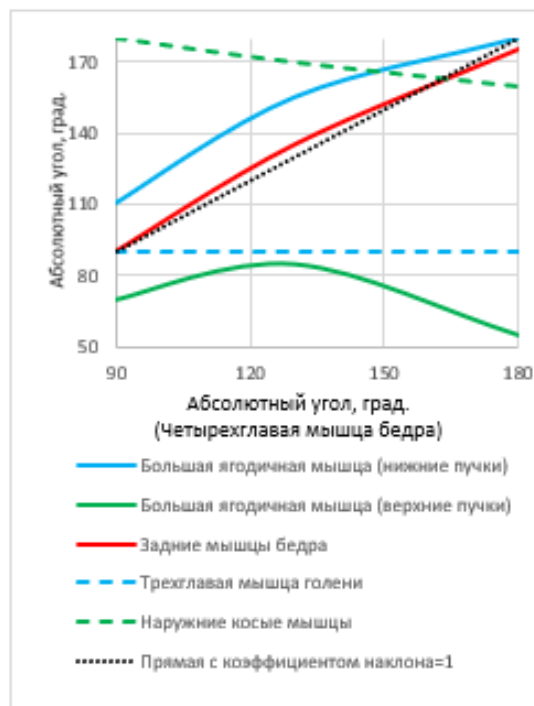


Рисунок Ж.9 - Упражнение 4 (выпады)



Рисунок Ж.10 - Упражнение 5 (отжимания)

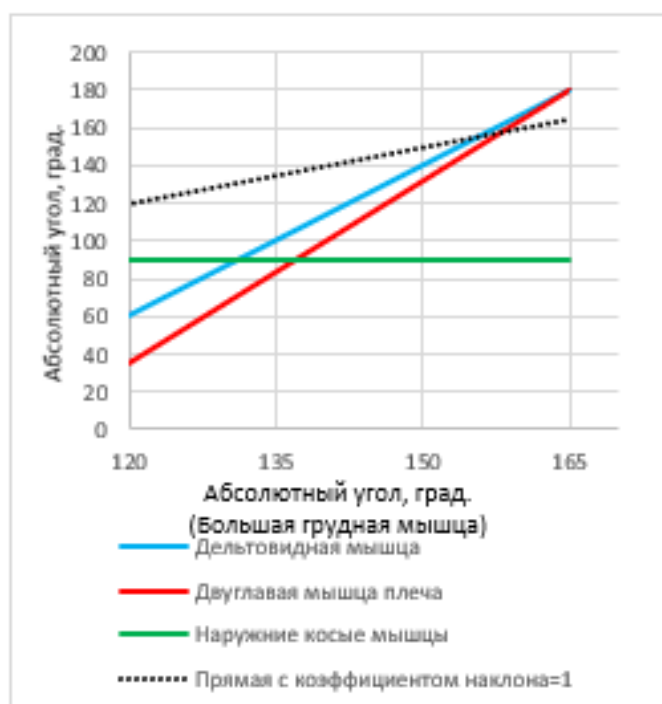


Рисунок Ж.11 - Упражнение 6 (жим штанги)

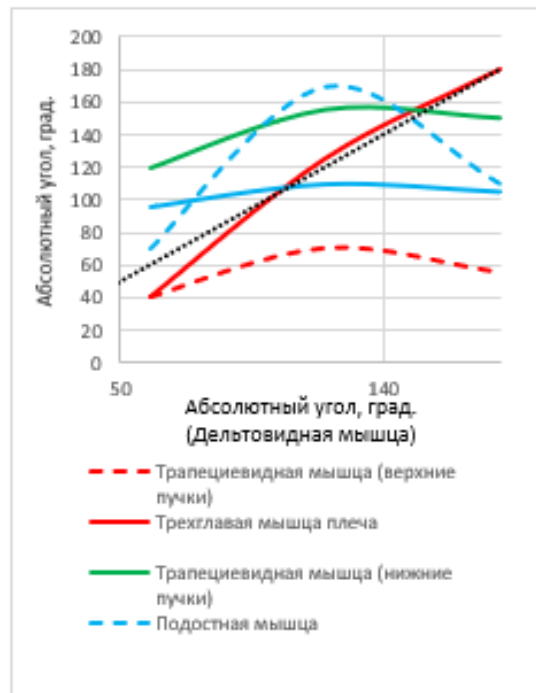


Рисунок Ж.12 - Упражнение 7 (жим гантелей стоя)

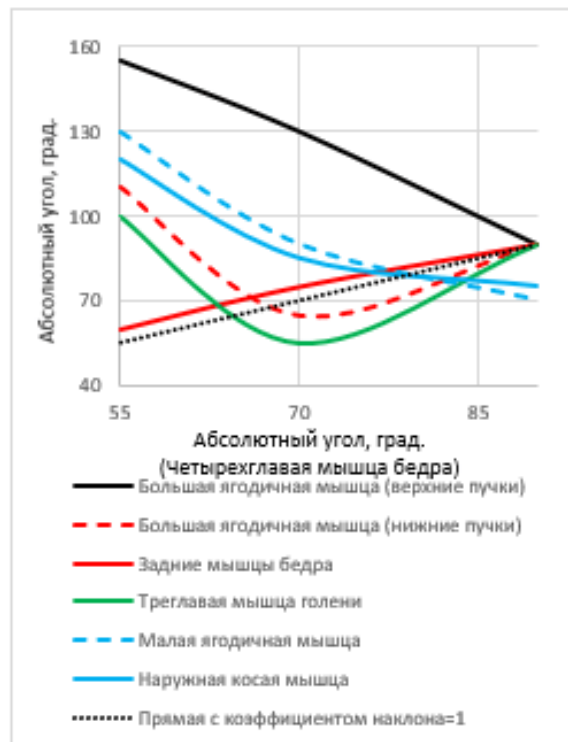


Рисунок Ж.13 - Упражнение 8 (толчок гири)

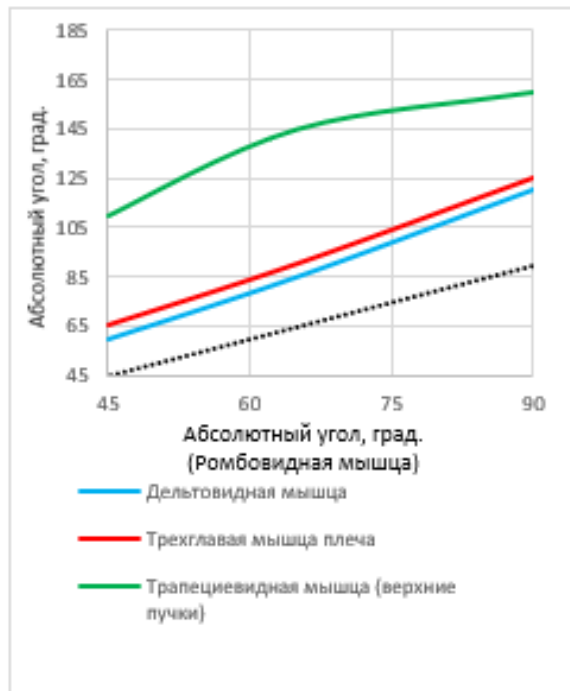


Рисунок Ж.14 - Упражнение 8 (толчок гири)

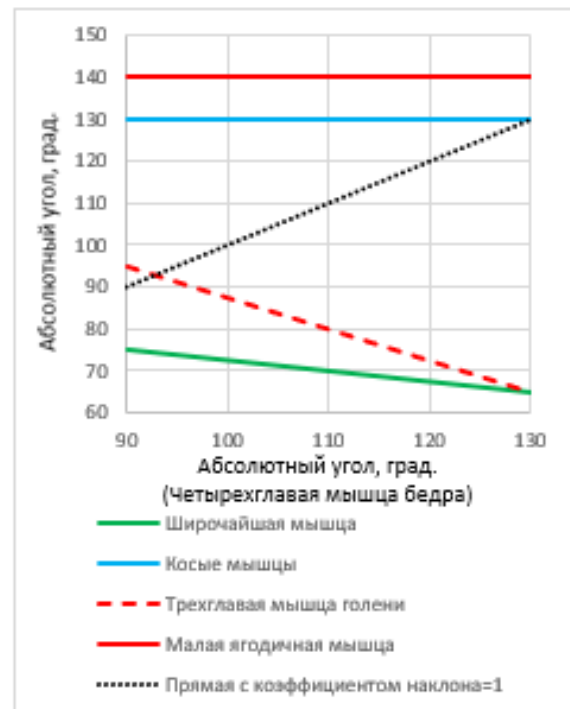


Рисунок Ж.15 - Упражнение 9 (подтягивания с опорой на ноги)

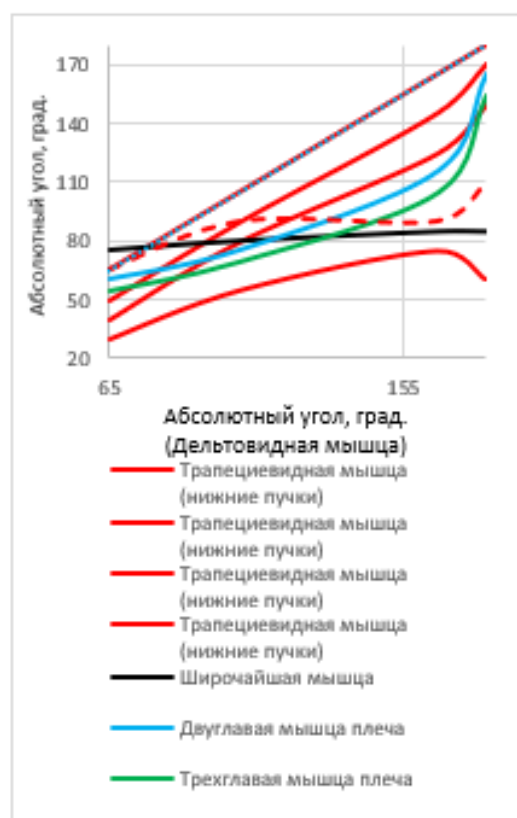


Рисунок Ж.16 - Упражнение 10 (подтягивания)

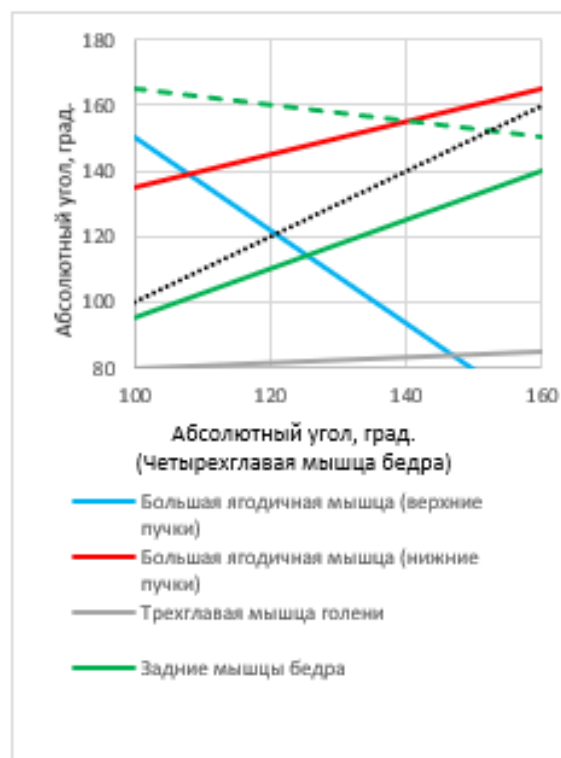


Рисунок Ж.16 - Упражнение 11 (приседания)

Результаты статистического анализа взаимной сопряженности показателей параметров угловых характеристик дельтовидной мышцы плеча и широчайшей мышцы спины

Получено выборочное распределение признака «А» в зависимости от В. Результаты приведены в таблице:

	A1	A2	A3	A4	$n_{i\cdot}$
B1	65	105	165	180	515
B2	75	80	80	85	320
$n_{\cdot j}$	140	185	245	265	835

Рассчитаем теоретические частоты по формуле:

$$n_{ij} = \frac{n_{i\cdot} \cdot n_{\cdot j}}{n}$$

для всех клеток таблицы

$$\begin{aligned} n_{11} &= \frac{n_{1\cdot} \cdot n_{\cdot 1}}{n} = \frac{515 \cdot 140}{835} = 86.35 \\ n_{12} &= \frac{n_{1\cdot} \cdot n_{\cdot 2}}{n} = \frac{515 \cdot 185}{835} = 114.1 \\ n_{13} &= \frac{n_{1\cdot} \cdot n_{\cdot 3}}{n} = \frac{515 \cdot 245}{835} = 151.11 \\ n_{14} &= \frac{n_{1\cdot} \cdot n_{\cdot 4}}{n} = \frac{515 \cdot 265}{835} = 163.44 \\ n_{21} &= \frac{n_{2\cdot} \cdot n_{\cdot 1}}{n} = \frac{320 \cdot 140}{835} = 53.65 \\ n_{22} &= \frac{n_{2\cdot} \cdot n_{\cdot 2}}{n} = \frac{320 \cdot 185}{835} = 70.9 \\ n_{23} &= \frac{n_{2\cdot} \cdot n_{\cdot 3}}{n} = \frac{320 \cdot 245}{835} = 93.89 \\ n_{24} &= \frac{n_{2\cdot} \cdot n_{\cdot 4}}{n} = \frac{320 \cdot 265}{835} = 101.56 \end{aligned}$$

Получим таблицу сопряженности теоретических частот распределения:

	A1	A2	A3	A4	$n_{i\cdot}$
B1	86.347	114.102	151.108	163.443	515
B2	53.653	70.898	93.892	101.557	320
$n_{\cdot j}$	140	185	245	265	835

Вычислим статистику χ^2 :

$$\begin{aligned} \chi^2 &= \sum \sum \frac{(n_{ij} - n_{ij})^2}{n_{ij}} = \\ &= \frac{(65 - 86.35)^2}{86.35} + \frac{(105 - 114.1)^2}{114.1} + \frac{(165 - 151.11)^2}{151.11} + \frac{(180 - 163.44)^2}{163.44} + \frac{(75 - 53.65)^2}{53.65} + \frac{(80 - 70.9)^2}{70.9} \\ &= \frac{(80 - 93.89)^2}{93.89} + \frac{(85 - 101.56)^2}{101.56} = 23.375 \end{aligned}$$

Коэффициент Чупрова

$$C = \sqrt{\frac{\chi^2}{n \sqrt{(r-1)(s-1)}}} = \sqrt{\frac{23.375}{835 \sqrt{(2-1)(4-1)}}} = 0.127$$

Коэффициент Крамера

$$K = \sqrt{\frac{\chi^2}{n \cdot \min[r-1, s-1]}} = \sqrt{\frac{23.375}{835 \min[2-1, 4-1]}} = 0.167$$

Коэффициент сопряженности Пирсона:

$$P = \sqrt{\frac{\chi^2}{\chi^2 + n}} = \sqrt{\frac{23.375}{23.375 + 835}} = 0.165$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Информация о разработанной системе измерения мышечной активности

Одной из возможностей является использование инфракрасного (ИК) датчика, который измеряет преломление света в определенной мышце. ИК-датчик эффективен для измерения мгновенного сокращения мышц, но при этом он недостаточно эффективен в измерении уровня силы, недостатком также является скорость передачи возвращаемых данных.

Также возможно измерить сокращение мышц путем усиления незначительных последовательных колебаний в герметичной воздушной камере. Силиконовая мембрана, удерживаемая на коже пользователя, перемещает воздух, который затем улавливается микрофоном. Среди недостатков можно выделить добавление лишнего объема готовой системы, что является критическим важным при проектировании портативных печатных плат для применения в исследовании систем «человек – одежда», в особенности в процессе антроподинамического состояния спортсмена.

Код программы для системы измерения мышечной активности

```
// считывает аналоговый вход с пяти входов платы Arduino
// и отправляет его через серийный
// переменные для входных контактов и
int analogInput[6];
// переменная для хранения значения
int value[6];
// начать отправку через последовательный порт
Serial.begin(9600);
}
int onboardLED = 13;      // Бортовой светодиод Arduino (pin 13) можно контролировать
int voltageThreshold = 400; // любое чтение выше вызовет действие
void setup() {
    Serial.begin(9600);
    pinMode(onboardLED, OUTPUT);
    // объявление режимов выводов
    for(int i=0;i<6;i++)
    {
        analogInput[i] = i+1;
```



```

    value[i] = 0;
    pinMode(analogInput[i], INPUT);
}

void loop() {
    int currentVoltage = analogRead(A0); // хранить входящее напряжение
    Serial.print(currentVoltage);      // выводит напряжение на монитор
    if(currentVoltage > voltageThreshold){
        // trigger actions
        Serial.println(" CONTRACTION!"); // печатает строку + новая строка
        digitalWrite(onboardLED, HIGH); // это посылает 5V, включение светодиода
    } else {
        Serial.println("");           // добавляет новую строку
        digitalWrite(onboardLED, LOW);
        // выключить свет, так как порог не достигнут
        // прочитать значение на аналоговом входе
        for(int i=0;i<6;i++)
        {
            value[i] = analogRead(analogInput[i]);
        }
        // распечатывает значение через последовательный порт
        for(int i=0;i<6;i++)
        {
            Serial.println(10000 + i + 1); //префикс
            Serial.println(value[i]);
            Serial.println(10010); // сигнал окончания
        }
        // подождите немного, чтобы не перегружать порт
        delay(10);
    }
}

```

Код скрипта для фильтрации исходных данных

```

fid = fopen('Myoware.txt');
% fid = fopen('file.txt');
dataIn = fscanf(fid, '%f', Inf);
fclose(fid);

% Поскольку предоставленный сигнал имеет 400 выборок за 0,2 секунды
% означает, что в 1 секунду будет 2000 выборок
fs = 2000; % частота дискретизации
t = 0: (1 / fs) : (1 - (1 / fs)); % времени вектор
% были протестированы несколько частот среза, и было обнаружено, что среза 200 Гц
% частоты обеспечивает более сглаженную версию входного сигнала
fc = 200; % частота среза фильтра нижних частот
% Разработка фильтра Butter_worth с fc = 200 и fs = 2000
filter_order = 5; % порядок фильтра Баттерворта
[b,a] = butter(filter_order,fc/(fs/2));
freqz(b,a)
title("Butter worth low pass filter")
dataOut = filter(b,a,dataIn);
figure
subplot(211)
plot( t(1:length(dataIn)) , dataIn )
xlabel('time [sec]')
ylabel('amplitude ')
title('Input signal')
subplot(212)
plot( t(1:length(dataIn)) , dataOut )
xlabel('time [sec]')
ylabel('amplitude ')
title('Low Pass filtered signal')

```

ПРИЛОЖЕНИЕ И

Алгоритм конструирования развертки одношовного втачного рукава

Перечень дополнительной антропометрической информации о морфологическом строении тела спортсмена, предназначенной для разработки алгоритма конструирования разверток ВФКО

Таблица И.1 – Перечень дополнительных антропометрических точек

Условное обозначение точек	Номер чертежа	Наименование точек	Определение точек
1	1	Точка основания трапецевидной мышцы	Точка на пересечении верхней части трапецевидной мышцы и бокового пучка дельтовидной мышцы
2	1	Точка основания трапецевидной мышцы спереди	Точка на пересечении трапецевидной мышцы с грудино-ключично-сосцевидной областью
3	1	Бедренная	Точка наибольшего выступания четырехглавой мышцы бедра
4	1	Медиальная	Точка наибольшего выступания медиальной мышцы бедра
5	3	Трехглавая	Точка наибольшего выступания трехглавой мышцы плеча
6	3	Двуглавая	Точка наибольшего выступания двуглавой мышцы плеча
7	1	Дельтовидно-ключичная	Точка пересечения переднего пучка дельтовидной мышцы плеча с ключицей
8	3	Предплечье	Точка наибольшего выступания мышц предплечья

Таблица И.2 – Перечень дополнительных размерных признаков, определенных в статическом положении человека

Номер размерного признака	Номер чертежа	Наименование размерного признака	Определение размерного признака и метод измерения
64	2	Обхват бедра второй	Измеряют по наиболее выступающей области четырехглавой мышцы бедра
65	2	Обхват бедра третий	Измеряют по наиболее выступающей точке медиальной мышцы бедра
66	3	Обхват бицепса	Измеряют по наиболее выступающей точке двуглавой мышцы плеча
67	3	Обхват трицепса	Измеряют по наиболее выступающей точке трехглавой мышцы плеча
68	3	Обхват предплечья	Измеряют по наиболее выступающей точке мышц предплечья
69	2	Высота плеча косая вторая	Измеряют расстояние от пересечения линии талии с позвоночником до точки основания трапецевидной мышцы
70	2	Расстояние от линии талии сзади до точки основания трапецевидной мышцы спереди	Расстояние от точки основания трапецевидной мышцы спереди до линии талии сзади. Измеряется перпендикулярно линии талии
71	2	Высота медиальной точки	Измеряют по вертикали расстояние от пола до медиальной точки
72	2	Высота бедренной точки	Измеряют по вертикали расстояние от пола до бедренной точки
73	2	Расстояние от плечевой точки до двуглавой точки	Измеряют от плечевой точки посередине переднезаднего диаметра плеча до двуглавой точки
74	2	Расстояние от плечевой точки до трехглавой точки	Измеряют от плечевой точки посередине переднезаднего диаметра плеча до трехглавой точки
75	2	Расстояние от точки основания шеи до точки предплечья	Измеряют от плечевой точки посередине плечевого ската до наиболее выступающей точки предплечья
76	2	Расстояние от дельтовидно-ключичной точки до заднего угла подмышечной впадины спереди	Измеряется от дельтовидно-ключичной точки в направлении переднего угла подмышечной впадины до проекции точки заднего угла подмышечной впадины. Проекция находится на горизонтальном луче, исходящем от точки заднего угла подмышечной впадины

Алгоритм построения конструкции одношовного втачного рукава для проектирования плотнооблегающей спортивной одежды

Перечень размерных признаков (РП), необходимых для построения конструкции одношовного втачного рукава представлен в Таблице 1. Расположение РП на мужской фигуре спортсмена показано на Рис. 1.

Таблица И.3 – Перечень РП для построения конструкции одношовного втачного рукава

№ п/п	Условное обозначение размерного признака	Наименование размерного признака	Определение размерного признака и метод измерения
1	Вок1	Длина дельты	Измеряют расстояние от плечевой точки до обхвата плеча (обхвата дельтовидного) под прямым углом
2	Од	Обхват дельтовидный	Измеряют по внешней стороне руки от заднего угла подмышечной впадины до переднего угла подмышечной впадины
3	Дпв	Длина плеча спереди	Измеряют расстояние от плечевой точки до переднего угла подмышечной впадины
4	Дсв	Длина плеча сзади	Измеряют расстояние от плечевой точки до заднего угла подмышечной впадины
5	двр	Вертикальный диаметр руки	Измеряют по вертикали проекционное расстояние от плечевой точки до заднего угла подмышечной впадины, либо вычитанием размерного признака «высота заднего угла подмышечной впадины» ВЗ.у. из размерного признака «высота плечевой точки» Вп.т.
6	Оп1	Обхват плеча первый	Лента проходит через углы подмышечной впадины, замыкаясь в плечевой точке
7	Оп	Обхват плеча	Измеряют перпендикулярно оси плеча. Верхний край ленты касается заднего угла подмышечной впадины. Лента замыкается на наружной стороне руки

Для построения конструкции, обеспечивающей высокое антропометрическое соответствие, качество посадки и высокие показатели эстетических характеристик необходимо выполнение следующих требований:

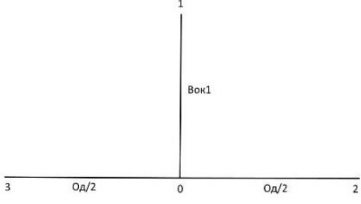
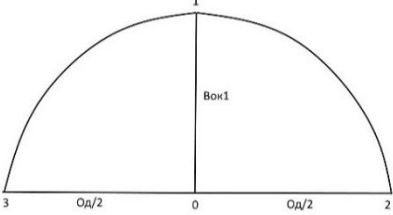
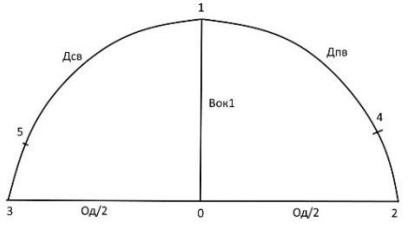
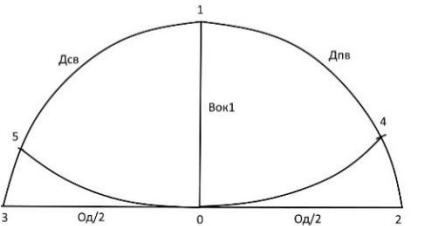
- антропометрические требования соответствия конструкции размерам и форме верхний конечностей;

— технологические требования, исходящие из особенностей изготовления швейных изделий и поведения текстильных материалов при монтаже и эксплуатации:

- гладкость и сопряженность конструктивных линий;
- прямолинейность средних участков оката: локтевого и переднего;
- прямолинейность верхнего участка оката в окрестности плечевой точки;

— равенство длин и конфигураций сопряженных срезов.

Таблица И.4 – Поэтапный алгоритм построения конструкции одношовного втачного рукава

№ п/п	Графический алгоритм построения	Описание алгоритма построения
1	2	3
1		По вертикали от точки 0 откладываем расстояние, равное Вок1, обозначаем плечевую точку 1
2		По горизонтали из нижней точки Вок1 откладываем вправо и влево отрезки, равные Од/2, обозначаем точки 2 и 3 соответственно
3		Соединяем точки 1, 2, 3 в виде полуэллипса
4		Из точки 1 откладываем по линии полуэллипса размерные признаки Дпв и Дсв в сторону полочки и спинки соответственно и обозначаем точки 4 и 5
5		Соединяем точки 4, 0 и 5 в виде эллипсовидной кривой

Продолжение таблицы И.4

1	2	3
6		Измеряем криволинейные отрезки 4-0 и 0-5, корректируем их длину до равенства их $Од/2$ и обозначаем точки 4' и 5'. Криволинейные отрезки 4-1 и 1-5 сдвигаем до пересечения с точками 4' и 5'.
7		Проводим касательные к криволинейным отрезкам 4'-1 и 1-5' в точках 4' и 5' соответственно. Из точек 4' и 5' откладываем перпендикулярные лучи
8		Из точек 4' и 5' откладываем радиус R и проводим полуокружности на внешние стороны. $R = (Оп1 - Дпв - Дсв)/2$
9		Из точки 1 откладываем лучи, параллельные лучам из точек 4' и 5'
10		Перпендикулярно лучам из точки 1 откладываем отрезок, равный $двр$ до пересечения с R . Обозначаем полученные точки 6 и 7
11		Проводим отрезки 6-4' и 7-5'

Продолжение таблицы И.4

1	2	3
12		Оформляем кусочно-заданную кривую 6-4'-1-5'-7 в виде гладкой кривой, соблюдая прямолинейность срезов в окрестности точки 1, переднего и локтевого участков оката рукава и горизонтальное направление срезов в окрестности точек 6 и 7. Проверяем равенство длины кривой 6-4'-1-5'-7 размерному признаку Оп1
13		Производим контрольное измерение конструкции, при котором должно соблюдаться равенство прямого отрезка 6-7 размерному признаку Оп
14		От точки 1 отложить расстояния, равные Дпв и Дсв и нанести монтажные надсечки
15		Отложить вниз вертикальные прямые из точек 6 и 7 и отметить точки 8 и 9 соответственно. Длины отрезков 7-8 и 6-9 равны и соответствуют заданной длине
16		Соединить точки 8 и 9 отрезком 8-9

Продолжение таблицы И.4

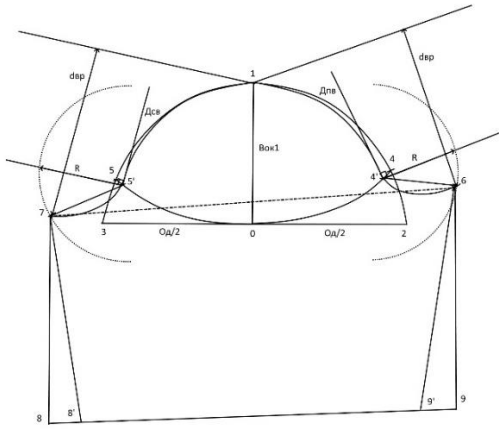
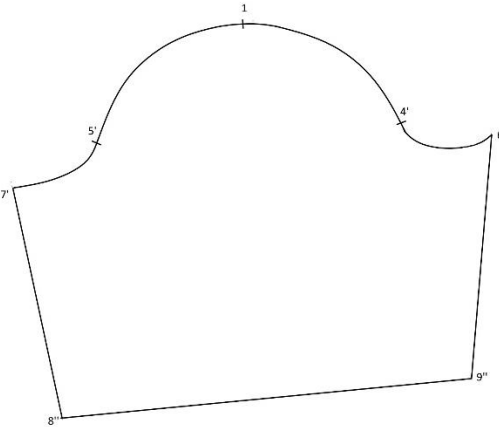
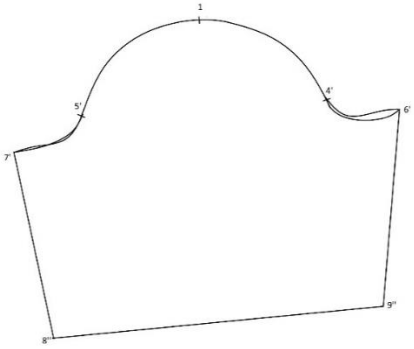
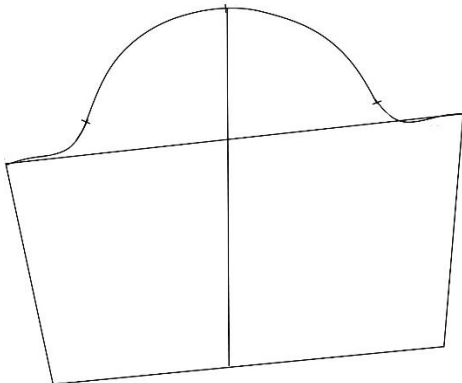
1	2	3
17		Произвести поворот отрезков 7-8 и 6-9 до соответствия длины отрезка 8-9 соответствующей обхватной характеристике. Соединить точки отрезком 8'-9'
18		Произвести поворот нижних участков проймы 5'-7, 4'-8, боковых срезов 7-8, 6-9'' 8'-9' на угол 3-5°, величина зависит от наклона плеча вперед. Обозначить соответствующие нижние участки проймы 5'-7', 4'-6', 7'-8'', 6'-9''
19		Соединить точку 5' с точкой 7', точку 4' с точкой 6' кривой с формированием в окрестности точек 5' и 6' прямых углов. Длина новых кривых должна соответствовать длине дуг 5'-7', 4'-6'
20		Построить отрезок 6'-7', Провести долевую линию из точки 1 до пересечения с отрезком 8''-9''

Таблица И.5 – Размерные признаки, используемые при построении плечевого изделия с втачным рукавом в методике ЦОТШЛ

№ п/п	Наименование РП	Условное обозначение РП	Величина РП, см
1	Полуобхват шеи	<i>Сш</i>	21,5
2	Линия лопаток	<i>Лл</i>	25,5
3	Линия груди	<i>Лг</i>	27,7
4	Длина талии спинки	<i>Дтс</i>	44
5	Ширина спины	<i>Шс</i>	18,5
6	Длина бока	<i>Дб</i>	18,8
7	Ширина проймы	<i>Шпр</i>	14
8	Наклон плеча спины	<i>Нпс</i>	45
9	Высота груди	<i>Вг</i>	28,2
10	Длина переда до талии	<i>Дтп</i>	41,5
11	Наклон плеча переда	<i>Нпп</i>	25
12	Длина плеча	<i>Дп</i>	16
13	Центр груди	<i>Цг</i>	10,3
14	Ширина груди первая	<i>Шг1</i>	17,5
15	Ширина груди вторая	<i>Шг2</i>	19,6
16	Полуокружность груди третья	<i>Сг3</i>	52
17	Полуобхват талии	<i>Ст</i>	38,2
18	Полуобхват бедер	<i>Сб</i>	49
19	Длина рукава	<i>Др</i>	64,2
20	Длина рукава до локтя	<i>Дрл</i>	38,3
21	Обхват плеча	<i>Оп</i>	36,7
22	Обхват запястья	<i>Оз</i>	16

Таблица И.6 – Размерные признаки, используемые при построении плечевого изделия с втачным рукавом в методике ЕМКО СЭВ

№ п/п	Наименование РП	Условное обозначение РП	Величина РП, см
1	2	3	4
1	Рост	<i>Р</i>	180
2	Высота линии талии	<i>Влт</i>	117
3	Высота коленной точки	<i>Вк</i>	53
4	Высота подъягодичной складки	<i>Впс</i>	85
5	Длина от талии до пола спереди	<i>Дсп</i>	119
6	Длина от талии до пола сбоку	<i>Дсб</i>	117
7	Обхват шеи	<i>Ош</i>	43
8	Обхват груди первый	<i>Ог1</i>	101
9	Обхват груди второй	<i>Ог2</i>	107
10	Обхват груди третий	<i>Ог3</i>	104
11	Обхват талии	<i>От</i>	76,4
12	Обхват бедер	<i>Об</i>	98
13	Высота проймы спереди	<i>Впрп</i>	21-22
14	Высота груди	<i>Вг</i>	28,2
15	Длина переда до талии	<i>Дтп</i>	41,5
16	Ширина груди	<i>Шг</i>	37,5

Продолжение таблицы И.6

1	2	3	4
17	Центр груди	<i>Цг</i>	20,6
18	Высота проймы сзади	<i>Впрз</i>	21,8
19	Длина спины до талии	<i>Дтс</i>	44
20	Длина спины от талии до шеи	<i>Дтс1</i>	48
21	Дуга туловища через основание шеи	<i>Двт</i>	89,3
22	Ширина спины	<i>Шс</i>	37
23	Дуга через высшую плечевую точку	<i>Дп</i>	34,2
24	Переднезадний диаметр руки	<i>дпзр</i>	14
25	Расстояние от шеи до лучевой точки	<i>Длуч</i>	54
26	Расстояние от шеи до линии обхвата запястья	<i>Дзап</i>	81
27	Обхват запястья	<i>Оз</i>	16

Таблица И.7 – Размерные признаки, используемые при построении плечевого изделия с втачным рукавом в английской методике конструирования (Алдрич)

№ п/п	Наименование РП	Условное обозначение РП	Величина РП, см
1	2	3	4
1	Обхват груди второй	<i>Ог2</i>	107
2	Ширина спины	<i>Шс</i>	18,5
3	Длина спины до талии	<i>Дтс</i>	44
4	Высота проймы сзади	<i>Впрз</i>	21,8
5	Обхват шеи	<i>Ош</i>	43
6	Длина руки для одношовного рукава	<i>Дрзап</i>	64,2
7	Обхват запястья	<i>Озап</i>	16

Таблица И.8 – Размерные признаки, используемые при построении плечевого изделия с втачным рукавом в методике ВДМТИ

№ п/п	Номер и наименование размерного признака	Условное обозначение	Значение размерного признака (см)
1	2	3	4
1	1. Рост	<i>Р</i>	180
2	7. Высота линии талии	<i>Влт</i>	117
3	13. Полуобхват шеи	<i>Сш</i>	21,5
4	14. Полуобхват груди первый	<i>Сг1</i>	50,5
5	15. Полуобхват груди второй	<i>Сг2</i>	53,5
6	16. Полуобхват груди третий	<i>Сг3</i>	52
7	18. Полуобхват талии	<i>Ст</i>	38,2
8	19. Полуобхват бедер с учетом выступа живота	<i>Сб</i>	49

Продолжение таблицы И.8

1	2	3	4
9	25. Расстояние от линии талии сбоку до пола	<i>Дсб</i>	117
10	26. Расстояние от линии талии спереди до пола	<i>Дсп</i>	119
11	28. Обхват плеча	<i>Оп</i>	36,7
12	29. Обхват запястья	<i>Озап</i>	16
13	31. Ширина плечевого ската	<i>Шпн</i>	16
14	34. Расстояние от шейной точки до линии обхвата груди первого (высота проймы спереди)	<i>Впрп</i>	22
15	35. Высота груди	<i>Вг</i>	28,2
16	36. Длина талии спереди	<i>Дтпн</i>	42,5
17	39. Расстояние от точки основания шеи сзади до линии обхвата груди первого с учетом выступа лопаток	<i>Впрз</i>	21,8
18	40. Длина спины до талии	<i>Дтс</i>	44
19	41. Высота плеча косая	<i>Впк</i>	46
20	45. Ширина груди	<i>Шг</i>	37,5
21	46. Расстояние между сосковыми точками	<i>Цг</i>	10,3
22	47. Ширина спины	<i>Шс</i>	18,5
23	54. Поперечный диаметр шеи	<i>ди</i>	12,5
24	62. Длина руки до локтя	<i>Дрлок</i>	38,3
25	68. Длина руки до линии обхвата запястья	<i>Дрзап</i>	64,2

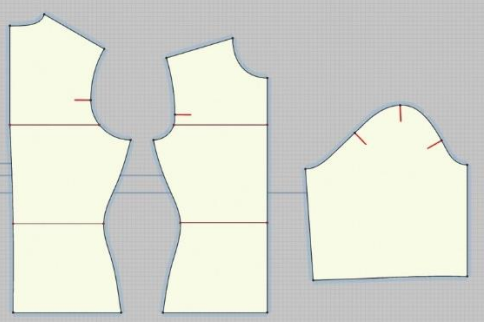
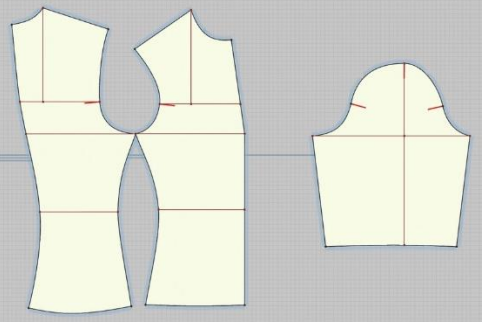
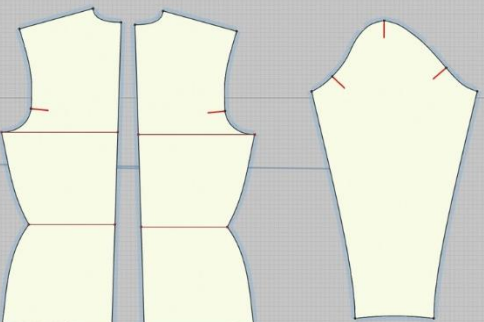
Таблица И.9 – Размерные признаки, используемые при построении плечевого изделия с втачным рукавом в методике Мюллер и сын

№ п/п	Условное обозначение	Значение размерного признака (см)
1	3	4
1	<i>P</i>	180
2	<i>От</i>	76,4
3	<i>Ог</i>	104
4	<i>Об</i>	98
5	<i>Гпр</i>	21,4
6	<i>Дсп</i>	44
7	<i>Вб</i>	65,4
8	<i>Дгс</i>	5,82
9	<i>Шпн</i>	16,5
10	<i>Дтпн2</i>	48,9
11	<i>Вг2</i>	28,2
12	<i>Шсп</i>	18,5
13	<i>Шпр</i>	11,5
14	<i>Шг</i>	22
15	<i>Оз</i>	16

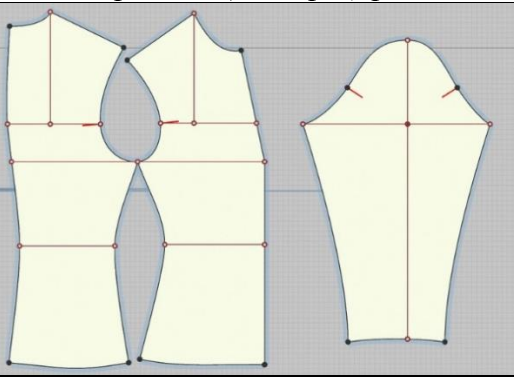
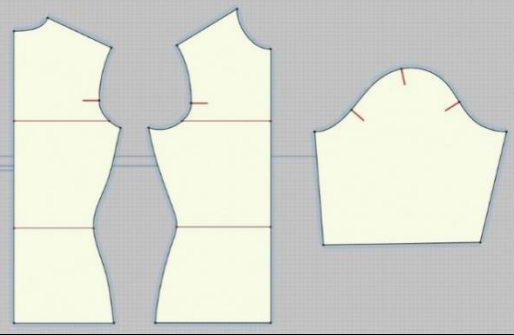
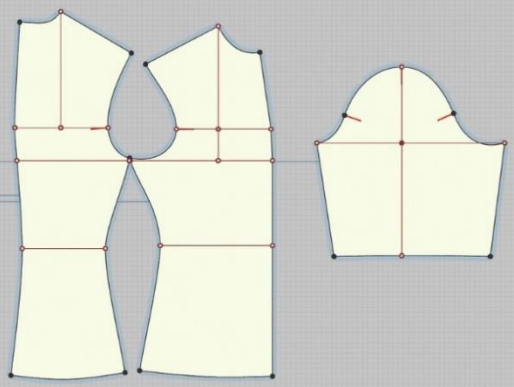
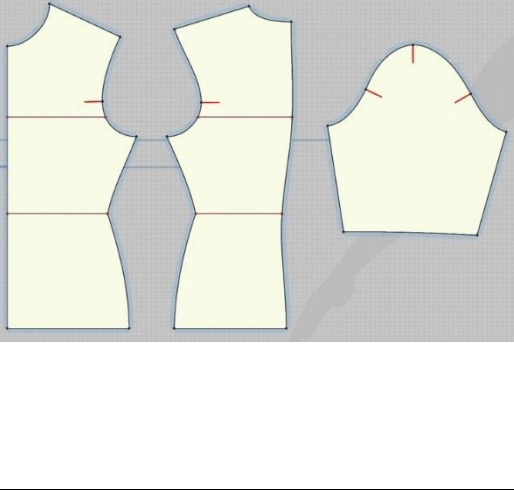
Таблица И.10 – Размерные признаки, используемые при построении плечевого изделия с втачным рукавом в предлагаемой методике

№ п/п	Условное Обозначение размерного признака	Значение размерного признака (см)
2	<i>Д_о</i>	12
3	<i>О_о</i>	24
4	<i>Д_{пв}</i>	16,5
5	<i>Д_{св}</i>	16
6	<i>д_{вр}</i>	13
7	<i>О_{п1}</i>	49,5
8	<i>О_п</i>	36,7

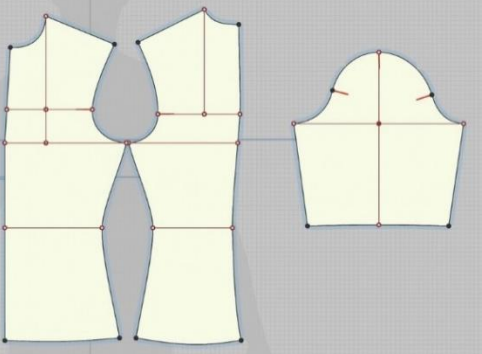
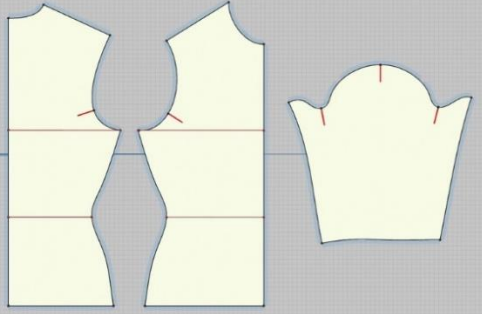
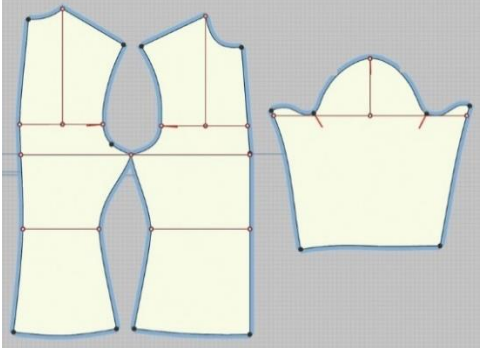
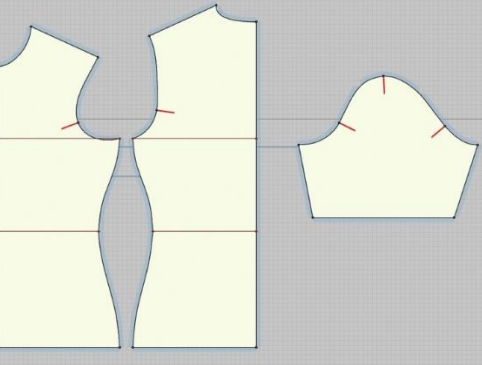
Таблица И.11 – Лекала исходных и модифицированных БК, построенных по сравниваемым методикам

№ п/п	Лекала
1	2
	<i>методика ЕМКО СЭВ (исходная БК)</i>
1	
	<i>методика ЕМКО СЭВ (модифицированная БК)</i>
2	
	<i>методика Мюллер и сын (исходная БК)</i>
3	

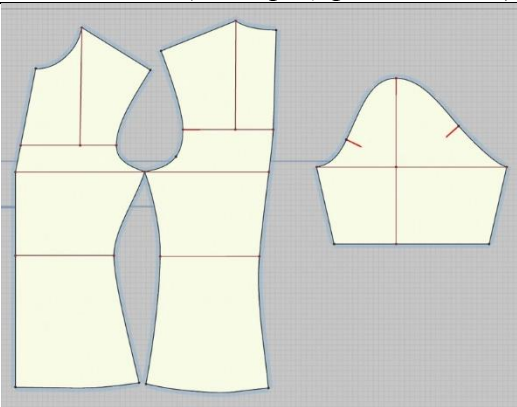
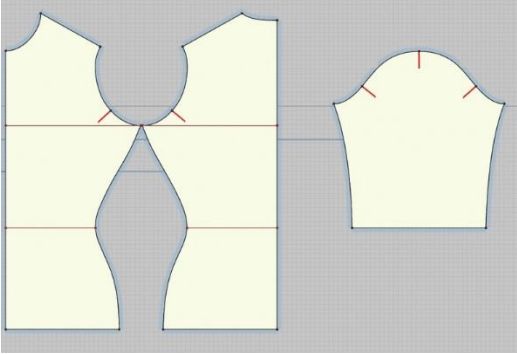
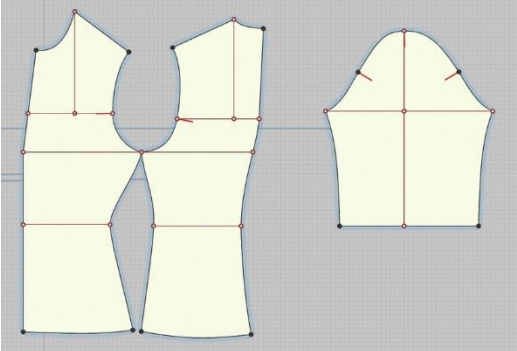
Продолжение таблицы И.11

1	2
	<i>методика Мюллер и сын (модифицированная БК)</i>
4	
	<i>методика Росляковой (исходная БК)</i>
5	
	<i>методика Росляковой (модифицированная БК)</i>
6	
	<i>методика ЦОТШЛ (исходная БК)</i>
7	

Продолжение таблицы И.11

1	2
	<i>методика ЦОТШЛ (модифицированная БК)</i>
8	
	<i>предлагаемая методика (исходная БК)</i>
9	
	<i>предлагаемая методика (модифицированная БК)</i>
10	
	<i>методика ВДМТИ (исходная БК)</i>
11	

Продолжение таблицы И.11

1	2
	<i>методика ВДМТИ (модифицированная БК)</i>
12	
	<i>Английская методика конструирования (исходная БК)</i>
13	
	<i>Английская методика конструирования (модифицированная БК)</i>
14	

Перечень исправлений в конструкцию плечевого изделия с втачным рукавом, построенную по индивидуальным меркам

1) Методика ЕМКО СЭВ

- Уменьшена ширина переда на 3 см;
- Убраны 2,5 см с ширины спинки и переда на уровне глубины проймы;
- Пройма углублена на 2 см;
- Сделана нагрудная вытачка раствором 2 см и переведена в средний шов переда;

- Талия заужена на 4 см в среднем шве;
- Бедра заужены в боковом шве на 2 см;
- Коническим поворотом уменьшена длина спинки на 1 см;
- Сформирована вытачка на лопатке раствором 1,5 см и переведена в средний шов спинки;
- Преобразован окат рукава под новую пройму.

2) Методика ЦОТШЛ

- Уменьшена ширина переда на 3 см;
- Уменьшена ширина спинки и переда на уровне глубины проймы на 2 см;
- Изменена конфигурация линии бокового шва;
- Сделана нагрудная вытачка раствором 2 см и переведена в средний шов переда;
- Перемещен плечевой шов ближе к точке основания шеи сбоку на 1 см;
- Заужена талия по среднему шву спинки на 2 см;
- Расширены бедра по среднему шву спинки на 1 см;
- Поднята точка основания шеи сзади на 1,5 см;
- Опущена ключичная точка на 1 см;
- Преобразован окат рукава под новую пройму.

3) Методика Росляковой

- Опущена глубина проймы на 2 см;
- Изменена конфигурация линии бокового шва;
- Уменьшена ширина спинки и переда на уровне глубины проймы на 2 см;
- Сделана нагрудная вытачка раствором 2 см и переведена в средний шов переда;
- Поднята точка основания шеи сзади на 2 см;
- Заужена талия на спинке в среднем шве на 4 см;
- Уменьшен обхват горловины на спинке в среднем шве на 3 см;
- Преобразован окат рукава под новую пройму.

4) Методика Мюллер и сын

- Изменена конфигурация линии среднего шва;
- Изменена конфигурация линии бокового шва;
- Заужены бедра на 4 см;
- Опущена линии проймы в нижней точке на 4 см;

- Заужен обхват переда и спинки в нижней точке проймы на 4 см;
- Опущена ключичная точка на 2 см;
- Опущена линия плеча на 1 см;
- Сделана нагрудная вытачка раствором 4 см и переведена в средний шов переда;
- Скорректирована пройма;
- Понижена головка рукава на 4 см.

5) *Английская методика конструирования*

- Уменьшен обхват груди на 13 см до соответствия размерному признаку индивидуальной фигуры;
- Уменьшен обхват талии на 1.6 см до соответствия размерному признаку индивидуальной фигуры;
- Уменьшена ширина спины на 1 см до соответствия размерному признаку индивидуальной фигуры;
- Уменьшена ширина груди на 0,8 см до соответствия размерному признаку индивидуальной фигуры;
- Изменена конфигурация линии бокового шва;
- Уменьшена длина талии спинки на 1.5 см методом конического заужения;
- Углублена пройма на 5,5 см в самой нижней ее точке;
- Изменена конфигурация линии среднего шва;
- Сделана нагрудная вытачка 2 см;
- Размоделирована нагрудная вытачка в пройму, горловину и средний сред переда;
- Преобразован окат рукава под новую пройму.

6) *Методика ВДМТИ*

- Заужены бедра на 7 см до соответствия размерному признаку индивидуальной фигуры;
- Заужена талия на 11 см до соответствия размерному признаку индивидуальной фигуры;
- Заужена грудь на 1 см до соответствия размерному признаку индивидуальной фигуры;
- Увеличена ширина груди на 1.3 см;

- Уменьшена ширина спины на 2.6 см;
- Изменена конфигурация линии бокового шва;
- Повышена высота проймы сзади на 0.5 см.
- Понижена высота проймы спереди на 0.6 см;
- Исправлен срез горловины сопряжением переда и спинки по плечевому шву;
- Повышена точка основания шеи сзади на 0.5 см;
- Изменена конфигурация линии среднего шва;
- Сделана нагрудная вытачка раствором 2 см;
- Перемещен плечевой срез на спинку на 1.5 см;
- Преобразован окат рукава под новую пройму;
- Выровнен низ изделия.

7) Предлагаемая методика

- Глубина проймы увеличена на 2 см;
- Уменьшена ширина спины и переда на уровне глубины проймы на 4 см;
- Изменена конфигурация линии бокового шва;
- Сделана нагрудная вытачка раствором 2 см и переведена в средний шов переда;
- Поднята точка основания шеи сзади на 2 см;
- Уменьшен обхват горловины сзади на спинке в среднем шве на 2 см;
- Заужена талия на спинке в среднем шве на 4 см;
- Преобразован окат рукава под новую пройму.

Информация о заданных свойствах материала в ПО Clo3D

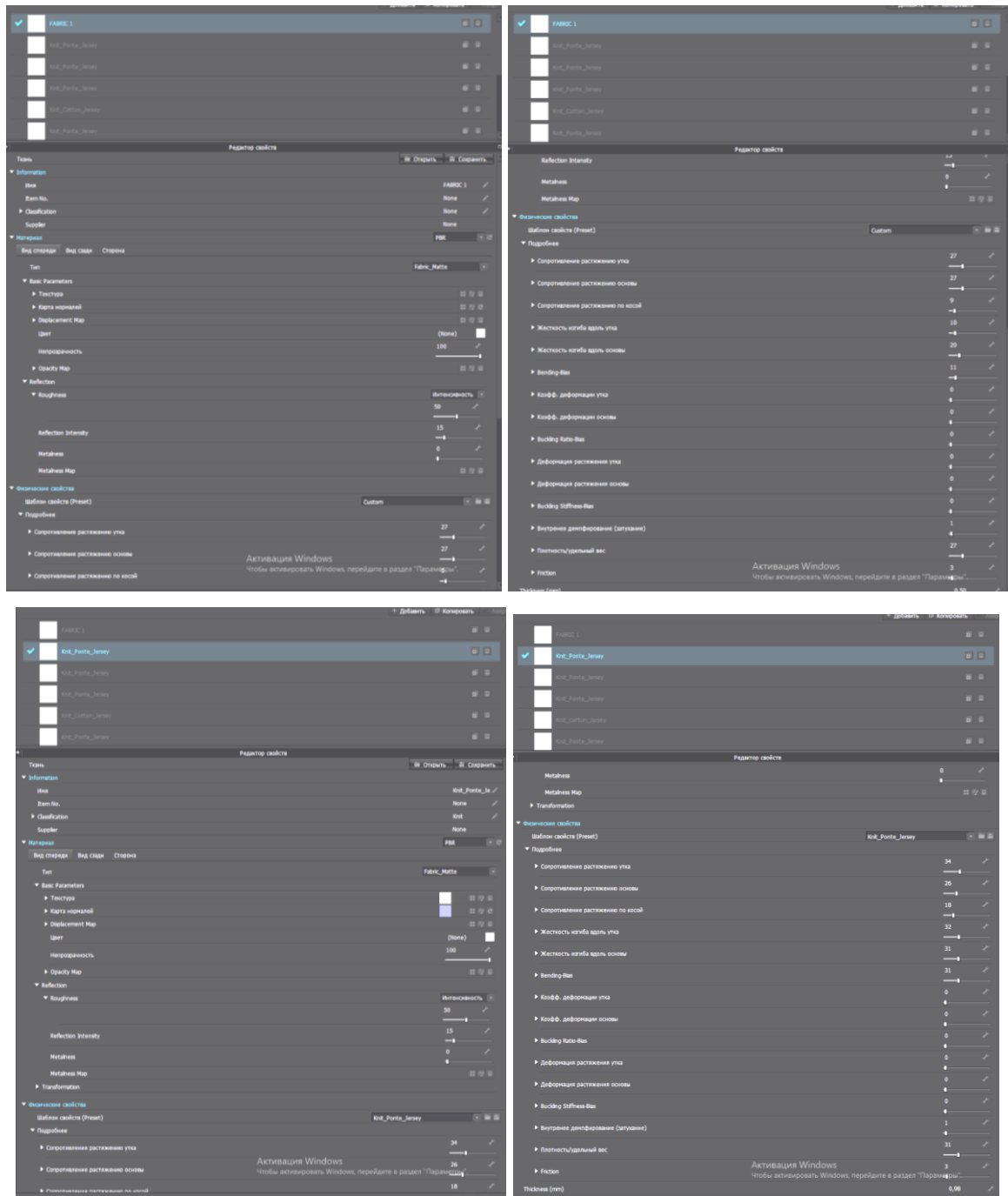


Рисунок И.1 – Окно программы Clo3D с перечнем свойств о материалах

Таблица И.12 – Виртуальная примерка плечевых изделий в втачным рукавом (3 вида)

№ п/п	Изображение изделия в виртуальной среде		
1	2		
методика ЕМКО СЭВ (исходная БК)			
1			
методика ЕМКО СЭВ (модифицированная БК)			
2			
методика Мюллер и сын (исходная БК)			
3			

Продолжение таблицы И.12

1	2
<i>методика Мюллер и сын (модифицированная БК)</i>	
4	
<i>методика Росляковой (исходная БК)</i>	
5	
<i>методика Росляковой (модифицированная БК)</i>	
6	
<i>методика ЦОТШЛ (исходная БК)</i>	
7	

Продолжение таблицы И.12

1	2
	<i>методика ЦОТШЛ (модифицированная БК)</i>
8	
	<i>предлагаемая методика (исходная БК)</i>
9	
	<i>предлагаемая методика (модифицированная БК)</i>
10	
	<i>методика ВДМТИ (исходная БК)</i>
	

Продолжение таблицы И.12

1	2
	<i>методика ВДМТИ (модифицированная БК)</i>
	
	<i>Английская методика конструирования (исходная БК)</i>
	
	<i>Английская методика конструирования (модифицированная БК)</i>
	

Таблица И.13 – Виртуальная примерка плечевых изделий в втачным рукавом (карта деформаций)

№ п/п	Изображение изделия в виртуальной среде		
1	2		
методика ЕМКО СЭВ (исходная БК)			
1			
методика ЕМКО СЭВ (модифицированная БК)			
2			
методика Мюллер и сын (исходная БК)			
3			
методика Мюллер и сын (модифицированная БК)			
4			

Продолжение таблицы И.13

1	2
	<i>методика Росляковой (исходная БК)</i>
5	
	<i>методика Росляковой (модифицированная БК)</i>
6	
	<i>методика ЦОТШЛ (исходная БК)</i>
7	
	<i>методика ЦОТШЛ (модифицированная БК)</i>
8	

Продолжение таблицы И.13

1	2
<i>предлагаемая методика (исходная БК)</i>	
9	
<i>предлагаемая методика (модифицированная БК)</i>	
10	

Таблица И.14 – Виртуальная примерка плечевых изделий в втачным рукавом (карта напряженности)

№ п/п	Изображение изделия в виртуальной среде
1	2
<i>методика ЕМКО СЭВ (исходная БК)</i>	
1	

Продолжение таблицы И.14

1	2
	<i>методика ЕМКО СЭВ (модифицированная БК)</i>
2	
	<i>методика Мюллер и сын (исходная БК)</i>
3	
	<i>методика Мюллер и сын (модифицированная БК)</i>
4	
	<i>методика Росляковой (исходная БК)</i>
5	

Продолжение таблицы И.14

1	2		
	<i>методика Росляковой (модифицированная БК)</i>		
6			
	<i>методика ЦОТШЛ (исходная БК)</i>		
7			
	<i>методика ЦОТШЛ (модифицированная БК)</i>		
8			
	<i>предлагаемая методика (исходная БК)</i>		
9			
	<i>предлагаемая методика (модифицированная БК)</i>		
10			

**Результаты экспертной оценки посадки опытных образцов плечевой
плотнооблегающей одежды с втачным одношовным рукавом**

Таблица И.15 – Данные опроса мнения экспертов об оценке посадки опытных образцов плечевой плотнооблегающей одежды с втачным одношовным рукавом (исходные БК)

№ п/п	Единичные показатели	Коэффицие нт весомости	Экспертная оценка ИБК по 10-бальной шкале						
			4						
			Методика						
			ЕМКО СЭВ	Мюллер и сын	Росляковой	ЦОТШЛ	Предлагаемый способ	ВДМТИ	Английская методика
1	Расширенная /зауженная спинка	0.09	2	1	2	0	0	2	2
2	Расширенная /зауженная горловина спинки	0.09	1	1	0	1	1	0	0
3	Укороченные/ удлиненные плечевые скаты	0.09	0	0	0	0	0	0	0
4	Мелкая пройма	0.09	0	0	0	0	0	2	2
5	Короткая/длинная спинка	0.09	3	1	2	0	0	3	0
6	Расширенная/ зауженная полочка	0.09	0		0	0	0	0	0
7	Расширенная /зауженная горловина переда	0.09	7	2	1	0	0	0	0
8	Недостаточная выпуклость полочки	0.09	0	0	0	0	2	3	2
9	Короткая/длинная полочка	0.09	0	0	1	0	0	0	0
10	Короткий и широкий/длинный и узкий окат	0.09	2	0	1	1	1	0	0
11	Перемещение рукава вперед/назад	0.09	0	0	1	1	1	0	1
Итоговая оценка			15	5	8	3	5	10	7

Таблица И.16 – Данные опроса мнения экспертов об оценке посадки опытных образцов плечевой плотнооблегающей одежды с втачным одношовным рукавом (модифицированные БК)

№ п/п	Единичные показатели	Коэффициент весомости	Экспертная оценка МБК по 10-бальной шкале						
			4						
			Методика						
			ЕМКО СЭВ	Мюллер и сын	Росляковой	ЦОТШЛ	Предлагаемый способ	ВДМТИ	Английская методика
1	Расширенная /зауженная спинка	0.09	2	1	1	0	0	2	1
2	Расширенная /зауженная горловина спинки	0.09	1	1	0	1	0	0	0
3	Укороченные/удлиненные плечевые скаты	0.09	0	0	0	0	0	0	0
4	Мелкая пройма	0.09	0	0	0	0	0	2	1
5	Короткая/длинная спинка	0.09	1	1	1	0	0	2	0
6	Расширенная/зауженная полочка	0.09	1		0	0	0	0	0
7	Расширенная /зауженная горловина переда	0.09	4	0	1	0	0	0	0
8	Недостаточная выпуклость полочки	0.09	0	0	0	0	0	2	1
9	Короткая/длинная полочка	0.09	0	0	1	1	0	0	0
10	Короткий и широкий/длинный и узкий окат	0.09	1	0	1	0	2	0	1
11	Перемещение рукава вперед/назад	0.09	0	0	0	0	1	0	1
Итоговая оценка			10	3	5	2	3	8	5

Форма анкеты - опросника

Уважаемый эксперт! Если Вы работаете конструктором, дизайнером или портным одежды, Ваш стаж более 8 лет, просим принять участие в оценке дефектов по 7 предложенным методикам и оценить качество посадки изделий. На каждый дефект проставьте, пожалуйста, баллы от 0 до 10. На макетах представлены исходные и модифицированные варианты методик.

0 - если дефект не выражен, 10 баллов - если дефект выражен максимально.

Анкета

Будем очень признательны, если Вы ответите на вопросы!

Таблица И.17 – Анкета-опросник

№ п/п	Наличие дефекта одежды	Оценка (0...10 баллов)	Примечание
1	2	3	4
1	Наличие вертикальных складок у проймы спинки		
2	Горизонтальные складки под проймой		
3	Горловина отстает от шеи		
4	Горловина врезается в шею		
5	Изделие «жмет» в плечах		
6	Изделие сваливается с плеч. Наличие наклонных складок на боковом участке спинки и полочки		
7	Наклонные заломы спинки		
8	Горловина и низ изделия отстают от фигуры. Боковые швы смещаются в сторону спинки.		
9	Поперечные складки в области горловины. Боковые швы перемещаются в сторону полочки		
10	Вертикальная складка у проймы полочки		
11	Поперечное натяжение полочки		
12	Наличие угловых заломов, начинающихся от наиболее выпуклой точки фигуры		
13	Вертикальные натяжения в верхней части полочки		
14	Поперечная слабина на верхнем участке полочки		
15	Наклонные складки вверх рукава		
16	Поперечные складки вверх рукава		
17	Натяжение в области линии переднего переката		
18	Заломы в области линии переднего переката		

Благодарим за участие в опросе

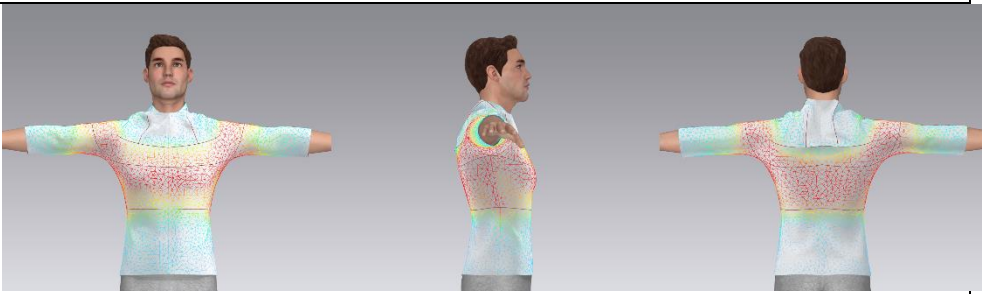
Таблица И.18 – Зависимость дуговых измерений передней части туловища от угла отведения руки

Вид отведения руки	Верт. линия измерения	Отведение, град.	Размерный признак, см				
			Об-От	От-От4	От4-От2	От2-УПВ	УПВ-Пск
1	2	3	4	5	6	7	8
В сторону	Через сосковую точку	0	22,4	11,8	5,4	8,0	11,5
		30	22,5	11,9	5,4	8,0	11,5
		60	22,5	12,1	5,5	8,1	11,5
		90	22,6	12,4	5,6	8,2	11,5
		120	22,8	12,8	5,8	8,4	11,6
		150	23,2	13,2	6,1	8,7	11,7
		180	23,7	13,8	6,4	9,0	12,0
	Через ключичную точку	0	22,5	12,0	4,2	7,6	14,3
		30	22,5	12,0	4,2	7,6	14,3
		60	22,5	12,1	4,2	7,7	14,3
		90	22,5	12,1	4,3	7,8	14,3
		120	22,6	12,2	4,4	7,9	14,3
		150	22,6	12,4	4,6	8,1	14,4
		180	22,6	12,5	4,6	8,3	14,4
Вперед/назад	Через сосковую точку	-60	22,5	12,0	5,6	8,2	11,6
		-30	22,4	11,9	5,5	8,1	11,5
		0	22,4	11,8	5,4	8,0	11,5
		30	22,4	11,8	5,4	8,0	11,5
		60	22,4	11,8	5,5	8,1	11,5
		90	22,5	11,9	5,6	8,3	11,5
		120	22,6	12,1	5,8	8,5	11,3
		150	22,7	12,3	6,0	8,8	11,2
		180	22,7	12,4	6,1	9,0	11,0
	Через ключичную точку	-60	22,6	12,1	4,3	7,8	14,3
		-30	22,5	12,1	4,2	7,7	14,3
		0	22,5	12,0	4,2	7,6	14,3
		30	22,5	12,0	4,2	7,6	14,3
		60	22,5	12,1	4,2	7,7	14,3
		90	22,5	12,2	4,3	7,8	14,3
		120	22,5	12,3	4,4	7,9	14,3
		150	22,5	12,4	4,5	8,1	14,3
		180	22,5	12,4	4,5	8,2	14,2

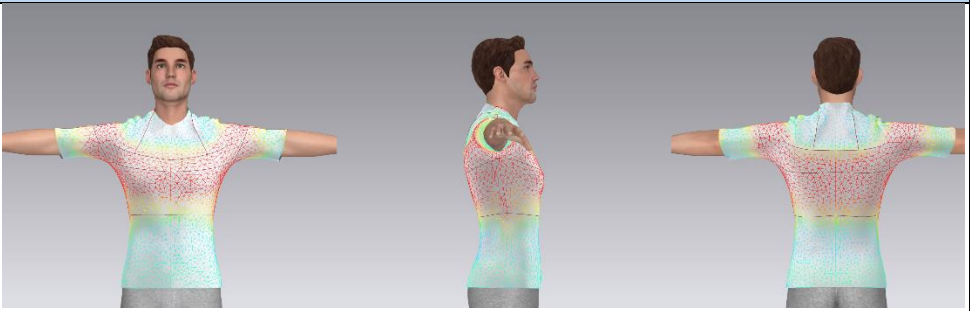
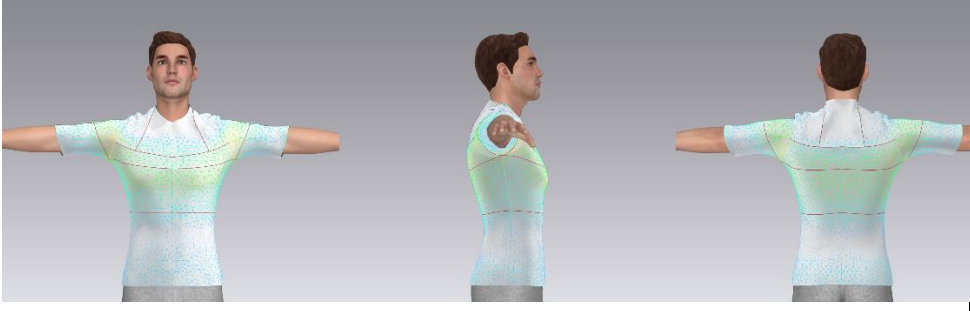
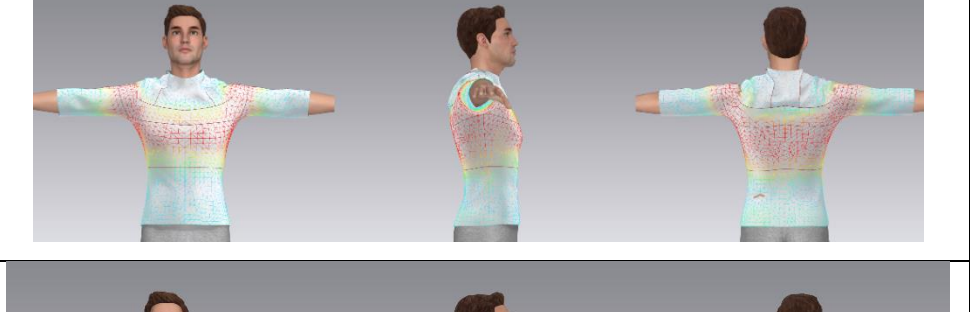
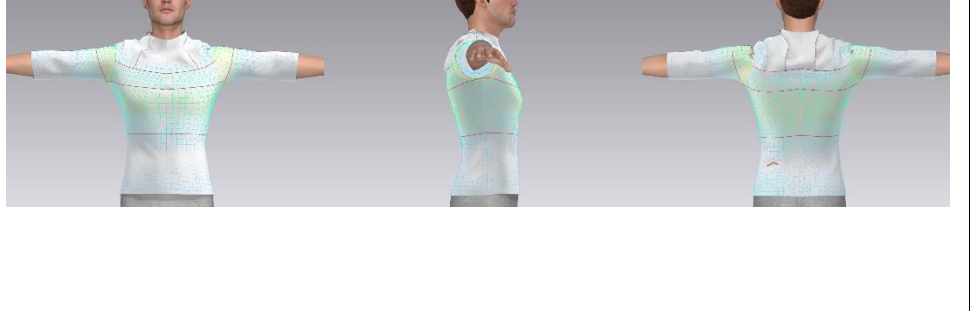
Таблица И.19 – Зависимость дуговых измерений задней части туловища от угла отведения руки

Вид отведения руки	Верт. линия измерения	Отведение, град.	Размерный признак, см				
			Об-От	От-От4	От4-От2	От2-УПВ	УПВ-Пск
1	2	3	4	5	6	7	8
В сторону	Через сосковую точку	0	22,4	11,8	5,4	8,0	11,5
		30	22,5	11,9	5,4	8,0	11,5
		60	22,5	12,1	5,5	8,1	11,5
		90	22,6	12,4	5,6	8,2	11,5
		120	22,8	12,8	5,8	8,4	11,6
		150	23,2	13,2	6,1	8,7	11,7
		180	23,7	13,8	6,4	9,0	12,0
	Через ключичную точку	0	22,5	12,0	4,2	7,6	14,3
		30	22,5	12,0	4,2	7,6	14,3
		60	22,5	12,1	4,2	7,7	14,3
		90	22,5	12,1	4,3	7,8	14,3
		120	22,6	12,2	4,4	7,9	14,3
		150	22,6	12,4	4,6	8,1	14,4
		180	22,6	12,5	4,6	8,3	14,4
Вперед/назад	Через сосковую точку	-60	22,5	12,0	5,6	8,2	11,6
		-30	22,4	11,9	5,5	8,1	11,5
		0	22,4	11,8	5,4	8,0	11,5
		30	22,4	11,8	5,4	8,0	11,5
		60	22,4	11,8	5,5	8,1	11,5
		90	22,5	11,9	5,6	8,3	11,5
		120	22,6	12,1	5,8	8,5	11,3
		150	22,7	12,3	6,0	8,8	11,2
		180	22,7	12,4	6,1	9,0	11,0
	Через ключичную точку	-60	22,6	12,1	4,3	7,8	14,3
		-30	22,5	12,1	4,2	7,7	14,3
		0	22,5	12,0	4,2	7,6	14,3
		30	22,5	12,0	4,2	7,6	14,3
		60	22,5	12,1	4,2	7,7	14,3
		90	22,5	12,2	4,3	7,8	14,3
		120	22,5	12,3	4,4	7,9	14,3
		150	22,5	12,4	4,5	8,1	14,3
		180	22,5	12,4	4,5	8,2	14,2

Таблица И.20 – Образцы плечевой одежды с втачным одношовным рукавом на виртуальных аватарах (динамическая поза – «отведение руки в сторону на 90 градусов»)

№ п/п	Характер истика	Изображение
1	2	3
<i>Английская методика конструирования</i>		
1	3 вида	
2	Карта деформаций	
3	Карта напряженности	
<i>Методика ВДМТИ</i>		
4	3 вида	

Продолжение таблицы И.20

1	2	3
5	Карта деформаций	
6	Карта напряженности	
Методика ЕМКО СЭВ		
7	3 вида	
8	Карта деформаций	
9	Карта напряженности	

Продолжение таблицы И.20

1	2	3
<i>Методика Мюллер и сын</i>		
10	3 вида	
11	Карта деформаций	
12	Карта напряженности	
<i>Методика Росляковой</i>		
	3 вида	
	Карта деформаций	

Продолжение таблицы И.20

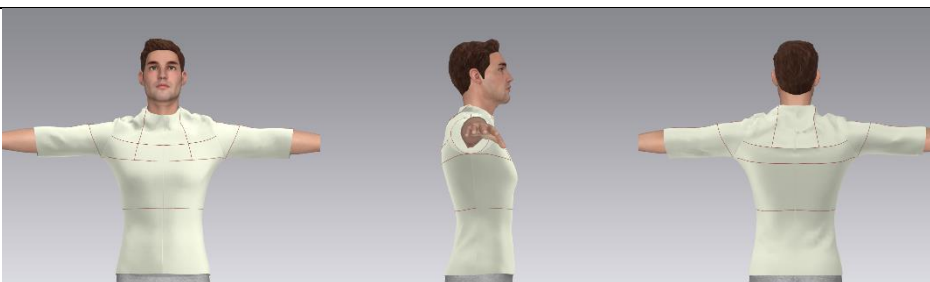
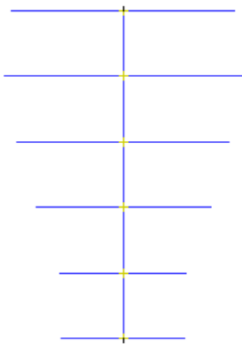
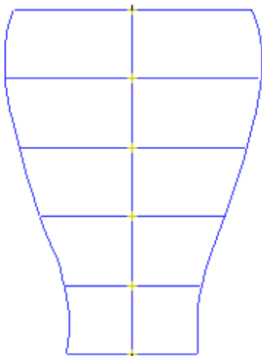
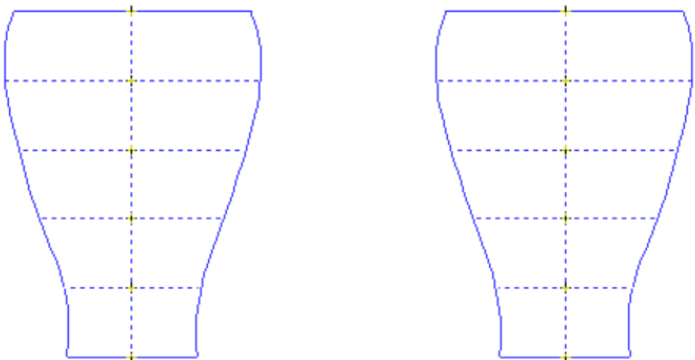
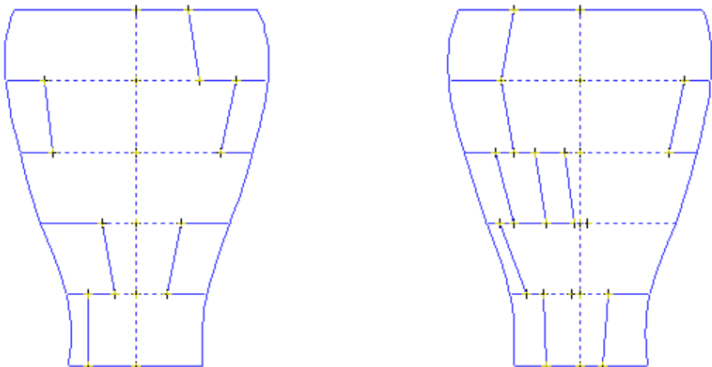
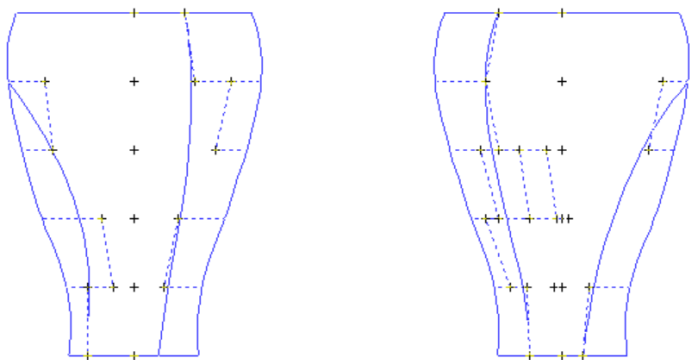
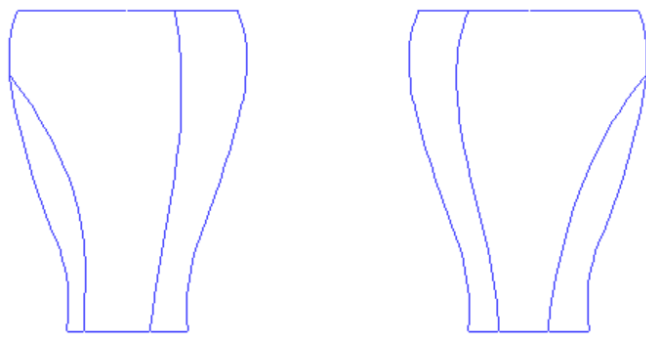
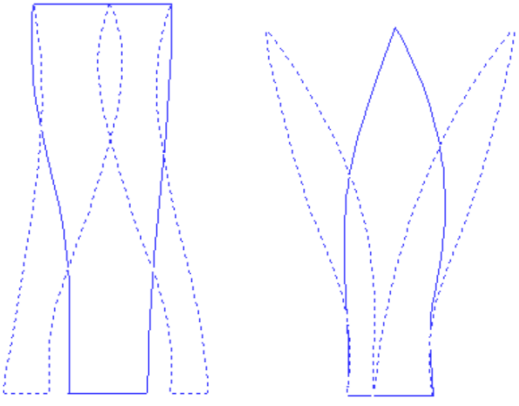
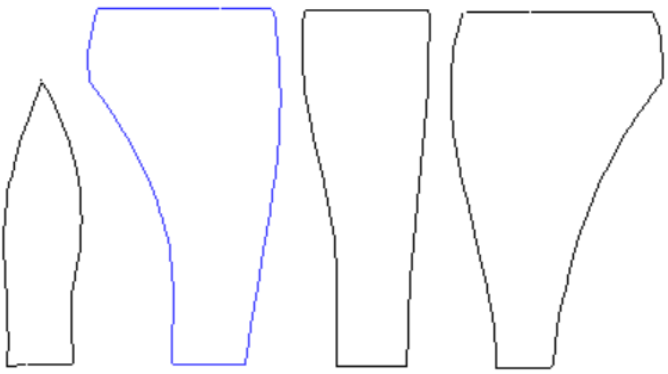
1	2	3
	Карта напряженности	
<i>Методика ВДМТИ</i>		
	3 вида	
	Карта деформаций	
	Карта напряженности	

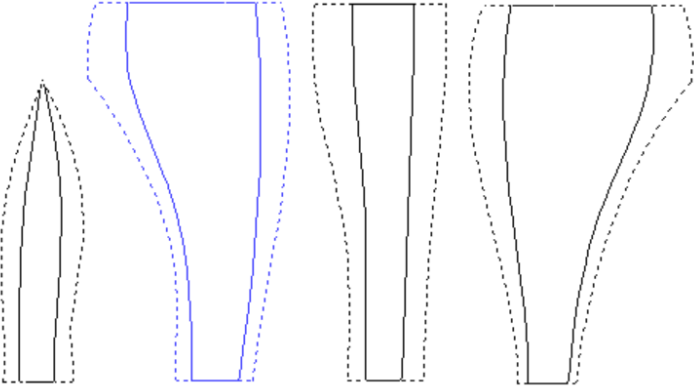
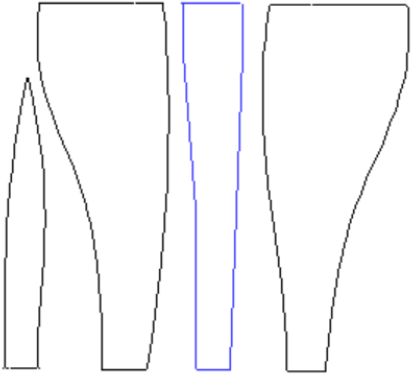
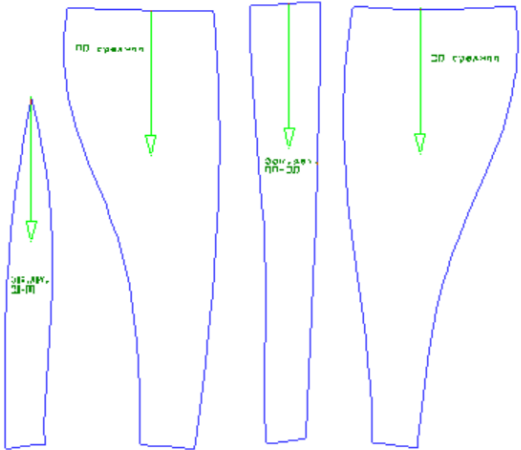
Таблица И.21 – Алгоритм построения конструкции образца гетерогенного КИ с зонами гибридной эластичности

№ п/п	Результат построения конструкции	Примечание
1	2	3
1		Нанесение длины изделия и габаритных размеров в горизонтальном направлении на антропометрических уровнях
2		Формирование контуров боковых срезов конструкции
3		Формирование левой и правой половинок конструкции (идентичны)
4		Нанесение зон гибридной эластичности в соответствии с полярными координатами

Продолжение таблицы И.21

1	2	3
5		Аппроксимация зон гибридной эластичности на антропометрических уровнях
6		
7		Объединение деталей зон гибридной эластичности с одинаковыми показателями натяжения ТП посредством совмещения деталей по боковому срезу. Формирование контуров единых деталей произведено с позиции компенсации недостающих размеров в горизонтальном направлении.
8		Формирование деталей конструкции

Продолжение таблицы И.21

1	2	3
10		Формирование деталей конструкции в соответствии с необходимым уровнем натяжения ТП посредством учета в конструкции отрицательных конструктивных прибавок
11		
12		Оформление лекал изделия

ПРИЛОЖЕНИЕ К

Статистическая обработка результатов исследования мышечной активности спортсмена

Анализ сходимости и воспроизводимости системы измерения мышечной активности в процессе эксплуатации ВФКО

В данном разделе проведена статистическая обработка результатов измерений мышечной активности спортсмена в динамическом состоянии с использованием метода анализа сходимости и воспроизводимости измерительных систем.

Для систематической количественной оценки изменчивости полученных в результате исследования данных МЭС применен Gage R&R метод – метод анализа сходимости и воспроизводимости измерительных систем (АСВ), заключающийся в дисперсионном анализе повторных измерений измеряемого параметра.

В данном методе анализу подвержена как изменчивость значений величин, вызванная самим процессом измерения (частичная изменчивость), так и изменчивость, относящаяся к измерительной системе. В контексте измерения параметра «длительность ПДМЕ», частичная изменчивость связана с внутренней изменчивостью продолжительности ПДМЕ, присутствующей в каждой выборке набора ПДМЕ, полученных в результате конкретного мышечного сокращения. Эта внутренняя изменчивость продолжительности ПДМЕ, то есть изменчивость измеряемого объекта в отличие от процесса измерения, обусловлена различиями в размерах и структуре мышечных единиц и различиями в расположении электродов в мышце.

Для анализа посредством метода Gauge R&R получены и систематизированы МЭС, имеющие четко определенную форму волны, в которых отсутствует явление суперпозиции, грубых флуктуаций и искажений от других источников. Результаты проведенного статистического анализа сходимости и воспроизводимости представлены на Рисунках К.1 – К.4.

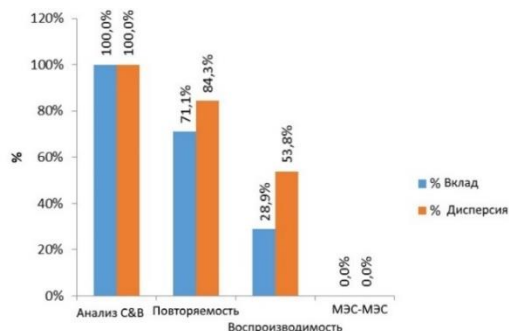


Рисунок К.1 – Диаграмма компонентов отклонений

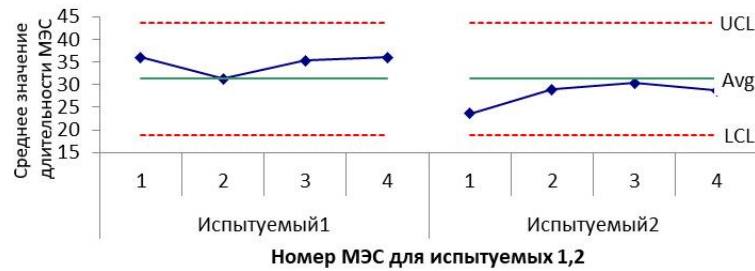


Рисунок К.2 - Диаграмма для средних значений $\bar{X}$ испытуемый-МЭС

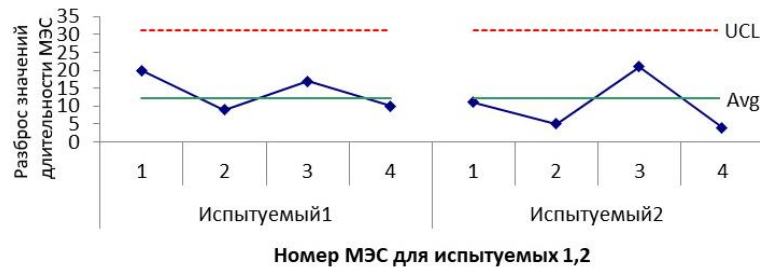


Рисунок К.3 - Диаграмма R (разброс) значений МЭС для испытуемых

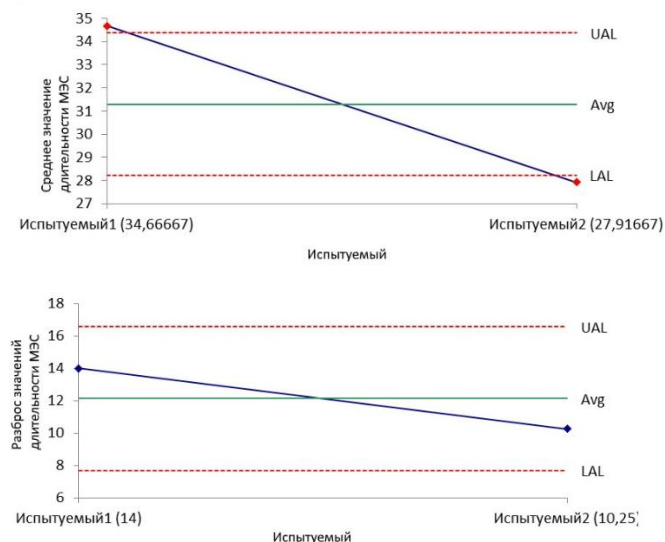


Рисунок К.4 – Диаграммы ANOM (ANOM – от англ. analysis of means, анализ средних) для смещения и повторяемости

Программное обеспечение Minitab использовалось для изучения результатов измерений мышечной активности спортсмена в динамическом состоянии. Для указанного анализа был проведен анализ измерительной системы (АИС) на повторяемость и воспроизводимость (Gage R&R). АИС проводился с двумя спортсменами (субъектами) в четырех точках измерения. Для каждого спортсмена проведено три испытания для измерения мышечной активности в динамическом состоянии. В качестве начальных данных для АИС выступили:

Количество испытуемых (спортсменов) = 02

Количество точек измерения = 04

Количество испытаний на точку измерения = 03

Результаты метода Gage R&R представлены ниже:

Таблицы двухстороннего дисперсионного анализа (ANOVA), приведенные ниже, показывают общую СС (степень свободы), равную 23 ($M\bar{E}C = 3$, Спортсмен (Субъект) = 1, $M\bar{E}C * \text{Субъект} = 3$ и Повторяемость = 23). Это говорит о том, что в общей сложности проведено 24 испытания ($= 23 + 1$). То же самое может быть рассчитано из приведенных выше данных как

Общее количество испытаний = Количество испытуемых (спортсменов) x Количество точек измерения x Количество испытаний на точку измерения

$$2 \times 4 \times 3 = 24$$

Суммы квадратов - это меры вариации для различных частей модели, тогда как средние квадраты измеряют, насколько вариативность объясняется термином или моделью. Порядок предикторов (другими словами, каждое испытание) в модели не влияет на расчет сумм квадратов и средних квадратов. Minitab использует суммы квадратов для вычисления р-значений в таблице ANOVA, и в основном для интерпретации анализа необходимо ориентироваться на р-значения, а не на значения СС.

Minitab использует F-значения для вычисления р-значений, чтобы определить статистическую значимость теста. Р-значение - это вероятность, которая измеряет свидетельство против нулевой гипотезы. Достаточно большое значение F указывает на статистическую значимость. В данном анализе небольшие значения F указывают на статистическую незначимость.

В таблицы двухфакторного дисперсионного анализа без взаимодействия приведен сравнительный анализ р-значений для спортсменов, измерений мышечной активности и взаимодействие обоих факторов, чтобы определить статистическую значимость каждого основного эффекта и эффекта взаимодействия. Уровень значимости сохранялся на уровне 0,05 ($\alpha = 0,05$). Это означает, что существует 5% риск сделать вывод о существовании эффекта, когда его на самом деле не существует. Нулевая гипотеза для основного эффекта (Спортсмен и мышечная активность) состоит в том, что средние значения ответа для всех уровней факторов равны, тогда как нулевая гипотеза для эффекта взаимодействия состоит в том, что среднее значение ответа для уровня одного фактора не зависит от значения параметра другого факторного уровня.

Статистическая значимость эффекта зависит от его р-значения. Если р-значение больше, чем уровень значимости 0,05 ($\alpha = 0,05$), эффект не является статистически значимым. Однако, если р-значение меньше или равно уровню значимости 0,05 ($\alpha = 0,05$), то влияние этого термина является статистически значимым.

Таблица К.1 – Двухсторонний ANOVA с взаимодействия

№ п/п	Параметр	Степень свободы	Сумма квадратов	Средние квадраты	F-значение	P-значение
1	2	3	4	5	6	7
2	МЭС	3	110.47	36.823	2.8023	0.210
3	Испытуемый	1	192.68	192.684	14.6638	0.031
4	МЭС*Испытуемый	3	39.42	13.140	0.2984	0.826
5	Повторяемость	16	704.56	44.035		
6	Всего	23	1047.13			

Из таблицы двухфакторного дисперсионного анализа без взаимодействия видно, что значения p для мышечной активности (МЭС) (p -значение = 0,210) и их взаимодействия (p -значение = 0,826) превышают уровень значимости 0,05 ($\alpha = 0,05$). Это означает, что влияние этих факторов не является статистически значимым. Однако значение $p = 0,031$ для субъекта (спортсменов) меньше уровня значимости 0,05 ($\alpha = 0,05$). Это говорит о том, что вариации в анализе системы измерений, связанные с субъектами, являются статистически значимыми. Из приведенной ниже таблицы видно, что измерения мышечной активности меняются в зависимости от операторов. Однако значения МЭС не влияют на способность операторов проводить измерения.

В таблице ниже приведены значения для двухстороннего дисперсионного анализа с удаленным взаимодействием МЭС и субъектом. p -значение МЭС составляет 0,441, что выше уровня значимости 0,05 ($\alpha = 0,05$), что указывает на то, что оно статистически не значимо. Это означает, что недостаточно данных об изменениях в ответах из-за различных условий МЭС. Тем не менее, p -значение Субъект (0,039) меньше уровня значимости 0,05 ($\alpha = 0,05$), что указывает на его статистическую значимость. Таким образом, различные состояния субъекта (спортсменов) могут привести к изменениям в ответах (измеренных значениях МЭС).

Таблица К.2 – Двухсторонний ANOVA без взаимодействия

№ п/п	Параметр	Степень свободы	Сумма квадратов	Средние квадраты	F-значение	P-значение
1	2	3	4	5	6	7
2	МЭС	3	110.47	36.823	0.94039	0.441
3	Испытуемый	1	192.68	192.684	4.92081	0.039
4	Повторяемость	19	743.98	39.157		
5	Всего	23	1047.13			

В таблице ниже и в соответствующей таблице показаны компоненты отклонений из проведенного статистического анализа. Как правило, в хорошей системе измерения львиная доля отклонений исходит от детали, а не от измерительной системы. Следовательно, полосы для повторяемости и воспроизводимости будут небольшими по сравнению с вариациями от детали к детали. В данном случае вариация от части к части (другими словами, вариация от МЭС к МЭС) равна нулю, тогда как вариации из-за повторяемости и воспроизводимости составляют 75,37% и 24,63%, которые составляют общую вариацию в Gage R&R (100%). Это означает, что изменения в данных вызваны операторами. Поскольку мышечная активность измеряется в динамическом состоянии; следовательно, это изменение можно отнести к испытуемым.

Таблица К.3 – Компоненты дисперсии

№ п/п	Параметр	Компоненты дисперсии	% вклад компонентов дисперсии
1	2	3	4
2	Общий Gage R&R	51.9508	100
3	Повторяемость	39.1569	75.37
4	Воспроизводимость	12.7939	24.63
5	Испытуемый	12.7939	24.63
6	Часть-к-части	0	0
7	Общая вариация	51.9508	100

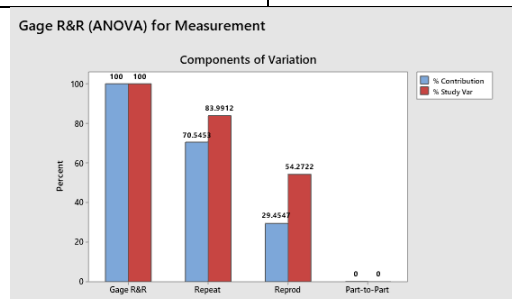


Рисунок К.5 - Диаграмма компонентов дисперсий (диаграмма из Minitab)

Сравнение вариации системы измерения с общей вариацией проведено с использованием процента вариации исследования. Среднеквадратическое отклонение (σ) - это стандартное отклонение для каждого источника отклонения и имеет те же единицы измерения, что и для размеров деталей. Вариация исследования (6σ) в шесть раз превышает стандартную вариацию для каждого источника. % Вариации исследования рассчитывается как вариация исследования для каждого источника, деленная на общую вариацию и умноженная на 100. % вариации исследования используется для сравнения

вариаций системы измерения с общими вариациями. У % вариации исследования нет преимущества, заключающегося в том, что все источники суммируются до 100%, как % вклад компонентов вариации. Из приведенной ниже таблицы видно, что % отклонения исследования для детали к детали равен нулю, а для повторяемости и воспроизводимости - 86,82 и 49,63 соответственно. Эти значения указывают на большой разброс в системе измерения из-за повторяемости и воспроизводимости. Это говорит о том, что мышечная активность спортсменов при измерении показала различия в результатах. Другими словами, испытуемые не могли повторить и воспроизвести одни и те же результаты при проведении измерений.

Таблица К.4 – Оценка датчика

№ п/п	Параметр	Среднеквадратическое отклонение (σ)	Вариация исследования ($6 \cdot \sigma$)	% вариации исследования
1	2	3	4	5
2	Общий Gage R&R	7.20769	43.2462	100
3	Повторяемость	6.25755	37.5453	86.82
4	Воспроизводимость	3.57686	21.4611	49.63
5	Испытуемый	3.57686	21.4611	49.63
6	Часть-к-части	0	0	0
7	Общая вариация	7.20769	43.2462	100

Приведенная ниже R-диаграмма проверяет уровень согласованности Субъекта (операторов). Если Субъекты измеряют детали согласованным образом, точки данных будут находиться в пределах контрольных значений. Как видно из диаграммы ниже, точки данных попадают в пределы, а диапазон относительно невелик, что указывает на согласованность между субъектами. Поскольку ни одно из значений субъектов не превышало верхнего контрольного предела ($UCL = 26,45$) или не упало ниже нижнего контрольного предела ($LCL = 0$). Хотя график показывал, что Субъекты были воспроизводимыми, можно видеть, что один Субъект А измерял значения МЭС последовательно ниже среднего, в то время как Субъект В измерял значения МЭС выше среднего.

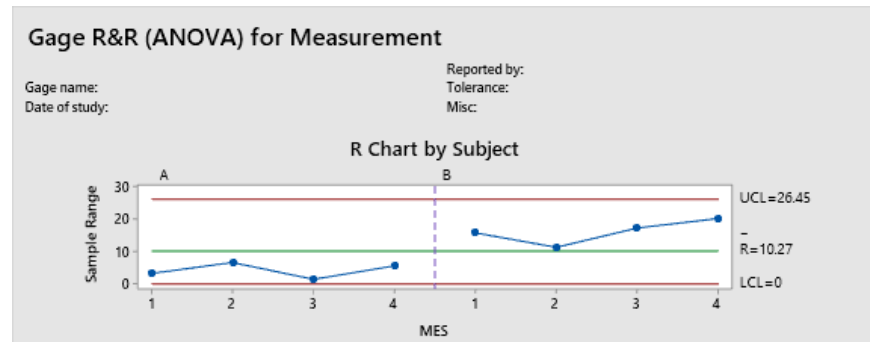


Рисунок К.6 - R диаграмма (ANOVA) для измерений (диаграмма из Minitab)

Диаграмма $\bar{X}$ bar оценивает изменение от детали к детали (МЭС-МЭС) для коэффициента повторяемости. В идеале $\bar{X}$ bar должен быть неконтролируемым, чтобы указывать на то, что присутствующая изменчивость вызвана различиями от Частей к Частям, а не различиями между Операторами. Но график показывает, что значения для обоих субъектов А и В находятся в пределах контроля ($UCL = 39,16$, $LCL = 18,14$). Это говорит о том, что изменения в системе вызваны Операторами (Субъектами). Более того, образцы измерений, выполненных двумя субъектами, не похожи. Это подтверждает ранее приведенный вывод.

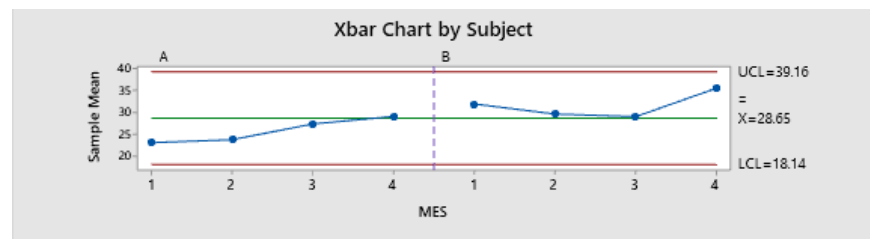


Рисунок К.7 - X-bar диаграмма (ANOVA) для измерений (диаграмма из Minitab)

Диаграмма размаха показывает, согласуются ли измерения и изменчивость между ними. Средние значения набора данных каждого Субъекта обозначены черными кружками. На прямоугольных диаграммах горизонтальная линия соединяет средние значения для данных каждого Субъекта из исследования. Заштрихованные прямоугольники представляют собой межквартильный диапазон ($Q3-Q1$) для каждого Субъекта. Межквартильный диапазон (IQR) является предпочтительной мерой разброса для наборов данных, которые не имеют нормального распределения. Сплошная линия внутри IQR - это медиана всех выборок, взятых Субъектом. Исследование показало, что существуют вариации в наборе данных Субъектов, что предполагает, что вариации в системе связаны с Операторами (Субъектом). Разброс измеренных значений и их среднее значение для каждого Оператора (Субъект) показывает, что у Субъекта Б измеренные значения выше, чем у Субъекта А.

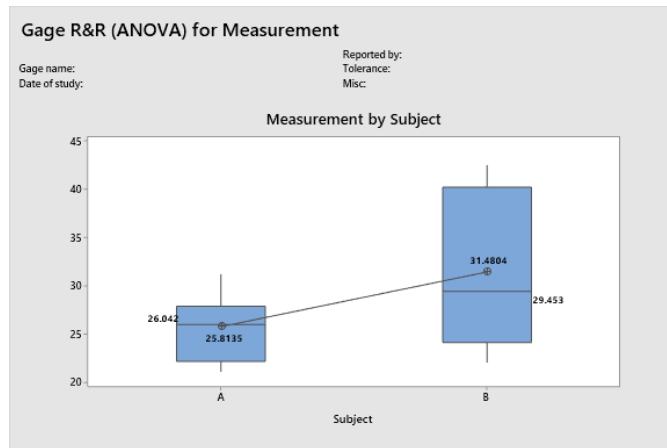


Рисунок К.8 - Диаграмма размаха по испытуемым (диаграмма из Minitab)

График по Деталям (МЭС) показывает все измерения, выполненные в исследовании, сгруппированные по Деталям (МЭС). Измерения представлены точками; средства обозначены крестиком в виде круга. Черная линия соединяет средние измерения для каждой Детали. На этой диаграмме показаны данные для Деталей для всех Операторов, построенных вместе. Он отображает необработанные данные и выделяет средние измерения мышечной активности для каждого Субъекта с компрессионной одеждой и без нее. Он показывает измерения мышечной активности, проведенные в четырех разных точках для двух Субъектов.

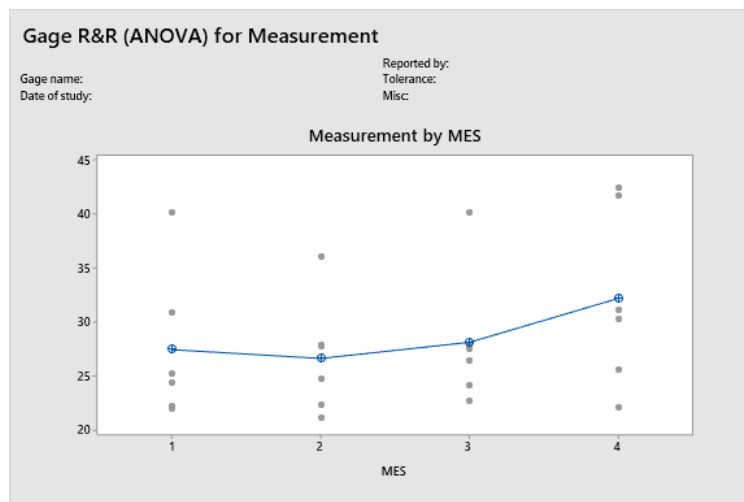


Рисунок К.9 - График измерений для МЭС (диаграмма из Minitab)

График ответа по взаимодействию показывает, было ли взаимодействие значительным. Эта часть взаимодействия с Оператором недоступна при использовании метода «Среднее значение и диапазон». На диаграмме отображаются средние значения мышечной активности в каждой точке, измеренные для каждого Субъекта. Линии соединяют средние значения для каждой точки МЭС. Как показано на графике ниже, линии для обоих Операторов не параллельны и указывают на отсутствие взаимодействия между

Деталью и Операторами. Это означает, что измеренные значения МЭС не повлияли на способности Операторов (Субъектов), вместо этого изменения в системе происходят из-за других факторов. Из анализа выше мы знаем, что вариации в системе происходят из-за Операторов (Субъект), а не Частей.

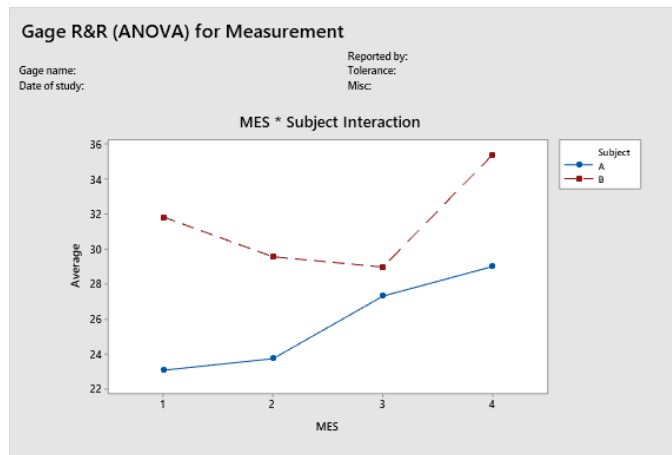


Рисунок К.10 - Диаграмма отклика по взаимодействию (диаграмма из Minitab)

Результаты статистического исследования результатов изменения мышечной активности в процессе эксплуатации ВФКО показали нулевое отклонение от Детали к Детали и высокие отклонения из-за повторяемости и воспроизводимости, указывающие на то, что отклонения в данных вызваны Операторами (Субъектами). Поскольку мышечная активность испытуемых измеряется динамически; следовательно, это изменение может быть связано с Субъектами, а не самими Субъектами. Это также предполагает, что отклонения из-за измерительного оборудования (детали или датчиков) в четырех точках для измерения мышечной активности субъектов равны нулю. Также мы видим, что взаимодействие части с оператором (МЭС с Субъектом) не имеет значения, т.е. измеренные значения МЭС не повлияли на способности Операторов (Субъектов). В системе есть вариации из-за Операторов (Субъектов).