

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Ивановский государственный политехнический университет»

На правах рукописи

吴忻舟

У Синьчжоу (Wu Xinzhou)

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ
ЖЕНСКИХ ГИДРОКОСТЮМОВ ДЛЯ ПОДВОДНОГО ПЛАВАНИЯ**

Диссертация

на соискание ученой степени кандидата наук

05.19.04 Технология швейных изделий

Научный руководитель – проф., д.т.н. В.Е.Кузьмичев

Иваново 2022

СОДЕРЖАНИЕ

	стр.
СПИСОК УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ	5
СПИСОК РИСУНКОВ	7
СПИСОК ТАБЛИЦ	11
В В Е Д Е Н И Е	12
ВСТУПЛЕНИЕ	18
1 ОБЗОР СОВРЕМЕННОГО ДИЗАЙНА ЖЕНСКОГО ГИДРОКОСТЮМА.	19
1.1. Введение в гидрокостюм	19
1.1.1. Краткая история гидрокостюма	19
1.1.2. Текущая ситуация на рынках гидрокостюмов	21
1.1.3. Современный стиль дизайна гидрокостюмов	23
1.1.4. Технология изготовления гидрокостюмов.	28
1.2. Текущий материал гидрокостюма.	31
1.2.1. Краткая классификация материала гидрокостюма.	31
1.2.2. Связь между показателями свойствами материала и структурой одежды	34
1.3. Компрессионное давление и комфорт ношения.	36
1.3.1. Классификация компрессионной одежды	36
1.3.2. Методы измерения давления	38
1.3.3. Распределение давления одежды на тело человека	40
1.3.4. Давление под одеждой	41
1.4. Антропометрические измерения	43
1.4.1. Современные системы размерных признаков.	43
1.4.2. Влияние динамических поз на изменение размерных признаков	46
1.5. Построение чертежа современного гидрокостюма	48
1.6. Применение 3D-технологий в дизайне одежды	52

1.6.1. Применение сканированных фигур и аватара	52
1.6.2. 3D дизайн компрессионной одежды	55
Цель и направления диссертационного исследования	56
2 АНТРОПОМЕТРИЧЕСКАЯ БАЗА ДАННЫХ	59
2.1. Группирование торсов женских фигур	59
2.1.1. Соотношение переднего и заднего полуобхватов ф и г у р ы	59
2.1.2. Поперечные сечения женского торса	60
2.1.3.Новая группировка фигур по форме и торса	62
2.1.4. Улучшенные манекены типовых фигур	63
2.2.Изменение размерных признаков человеческого тела.	65
2.2.1.Статические измерения тела	65
2.2.2.Изменение размерных признаков фигуры в динамике....	69
Заключение по главе 2	75
3 ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПРЕССИИ МАТЕРИАЛОВ	77
3.1.Компрессия одежды на уровнях обхватов женской фигуры	77
3.2.Соотношение между уменьшением обхватов фигуры, удлинением материала и компрессионным давлением	84
3.2.1. Сжимаемость мягких тканей тела человека	84
3.2.2.Растяжение материалов.	85
3.3. Конструктивные прибавки	88
Заключение главы 3	90
4 ВЗАИМОСВЯЗЬ МЕЖДУ ПОКАЗАТЕЛЯМИ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ И ДАВЛЕНИЕМ ГИДРОКОСТЮМА НА ТЕЛО	92
4.1.Механические испытания материалов гидрокостюма	92
4.2. Корреляционно-регрессионный анализ	96
4.3.Модель прогноза.	97
4.4. Проверка математических моделей прогнозирования	98
Заключение по главе 4	99

5 РАЗРАБОТКА ДИЗАЙНА ГИДРОКОСТЮМА	101
5.1. Дизайн прототипа гидрокостюма	101
5.1.1. Первоначальный прототип тесной одежды	101
5.1.2. Чертеж базовой конструкции гидрокостюма	104
5.2. Разработка цифровой реплики	105
5.2.1. Моделирование важных частей туловища	105
5.2.2. Генерирование разверток гидрокостюма	107
5.3. Совершенствование базовой конструкции гидрокостюма.	110
5.3.1. Совершенствование и верификация конструкции рукава.	111
5.3.2. Экспериментальная проверка других улучшений конструкции	116
5.4. Практическая оценка разработанной конструкции	121
5.4.1. Сравнение с существующими моделями-аналогами	121
5.4.2. Тестирование под водой и оценка результатов.	126
5.4.3. Проверка теоретических значений давления	127
Заключение по главе 5	129
ЗАКЛЮЧЕНИЕ ИТОГИ ВЫПОЛНЕННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ	131
РЕКОМЕНДАЦИИ, ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ	132
Список литературы	133
ПРИЛОЖЕНИЕ А. Результаты антропометрических измерений	150
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Результаты измерения давления и растяжения материалов.	155
ПРИЛОЖЕНИЕ В. Результаты испытания материалов на комплексе KES-F.	162
ПРИЛОЖЕНИЕ Г. Алгоритм построения базовой конструкции гидрокостюма и результаты испытаний	16
ПРИЛОЖЕНИЕ Д. Акт испытаний.	184

СПИСОК УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

- BG – Обхват груди третий
- WG – Обхват талии
- HG – Обхват бедер
- BG_F – Передняя часть BG
- BG_B – Задняя часть BG
- WG_F – Передняя часть WG
- WG_B – Задняя часть WG
- HG_F – Передняя часть HG
- HG_B – Задняя часть HG
- TG – Обхват бедра
- SL – Длина верхней части туловища сбоку
- FNP-WL – Расстояние от верхней грудинной точки (FNP) до талии спереди
- BNP-WL – Длина спины до талии
- FWP – Передняя точка талии
- BWP – Задняя точка талии
- Cr – Паховая точка
- BP – Сосковая точка (выступающая точка грудных желез)
- P1 – Поза 1, стоя на полу с опущенными руками
- P2 – Поза 2, стоя на полу с поднятыми вверх руками
- P3 – Поза 3, лежа на животе - руки вытянуты вперед, ноги выпрямлены назад
- P4 – Поза 4, лежа на животе руки вытянуты вперед, ноги вместе и согнуты в коленях под углом 90°
- P5 – Поза 5 аналогичная P3, но все измерения выполнены под водой с помощью сантиметровой ленты.
- P6 – Поза 6 аналогичная P4, но все измерения выполнены под водой с помощью сантиметровой ленты.
- DIF – Различия между одноименными размерами тела в положениях

стоя и лежа на животе

- ΔG – Изменения обхватов фигуры
- ΔL – Изменения длины фигуры
- CR – Хлоропреновый каучук
- SBR – Бутадиен-стирольный каучук
- SCR – Стирол-хлоропреновый каучук
- P_{\max} – Максимально допустимое давление, кПа
- E_{\max} – Максимальное удлинение материала, %
- E_{\min} – Минимальное удлинение материала, %
- ΔG_{\max} – Максимальные изменения обхватов фигуры, %
- ΔG_{DIF} – Разница (DIF) в обхватах для разных поз, %
- RC_b – Коэффициент сжатия тела человека, %
- RC_m – Степень сжатия материала, кПа / %
- KES-FB – Японские приборы для испытания текстильных материалов
- EMT – Полная деформация удлинения при нагрузке 500 сН/см на *KES-FB1*, %
- F – Сила (нагрузка) натяжения, сН.см
- LT – Коэффициент полноты диаграммы растяжения/релаксации на *KES-FB1*
- WT – Работа растяжения на *KES-FB1*, сН.см/см²
- 2HG – Гистерезис усилия сдвига по при угле 0,5 град. на *KES-FB1*, сН/см
- e – Основание натурального логарифма 2,718
- Sig* – Уровень статистической достоверности гипотезы
- S.D. – Стандартное отклонение
- DR – Деформированный виртуальный двойник фигуры, виртуальная 3D модель фигуры
- PW1-S – Серийные / покупные гидрокостюмы малых размеров
- DW-Y1 – Разработанные гидрокостюмы для женских фигур телосложения Y1

СПИСОК РИСУНКОВ

- Рис.1.1 Самый ранний гидрокостюм: а – жилет Jack O’Neil; б– И.С. Фостер моделирует ранний гидрокостюм Брэдна [120]
- Рис.1.2 История развития олимпийского костюма [74]
- Рис.1.3 Виды и области применения гидрокостюмов
- Рис.1.4 Типы гидрокостюмов: vest жилет, bottoms - брюки, tops - верх, short John - короткий комбинезон, long sleeve - с длинным рукавом, long John - длинный комбинезон, full length - полноростовой
- Рис.1.5 Швы для обеспечения защиты: а – различные материалы и покрытия корабля на колене; б – цветное оформление гидрокостюма SAMS арены [59]
- Рис.1.6 Способы соединения деталей: а – плоский замок с клеем; б – потайной стежок клеем/лентой
- Рис.1.7 Расположение застежки-молнии: а – вертикальная молния спереди; б – горизонтальная молния спереди; в – молния в горловине спереди O’Neill Double super seal (широкие возможности для регулирования и надежной фиксации, полностью регулируемая и водонепроницаемая); г– молния сзади, O’Neill F.U.Z.E. Система (Front Upper Zip Entry) обеспечивает абсолютную водонепроницаемость и неограниченную гибкость [43,50]
- Рис.1.8 Материал гидрокостюма: а – материалы разной толщины; б – состав многослойного материала
- Рис.1.9 Зависимость между температурой воды и толщиной композиционного материала
- Рис.1.10 Области исследования и применения давления в женской одежде
- Рис.1.11 Тестер контактного давления подушки безопасности AMI-3037 и система измерения давления (лаборатория Университета Дунхуа, Шанхай, Китай)
- Рис.1.12 Сканированные динамические позы: а – мужские [104]; б – женские [105]
- Рис.1.13 Развертки гидрокостюма: а – рисунок, полученный из 3D в 2D [105]; б – схемы деталей для корейских мужчин стандартного телосложения [16]
- Рис.1.14 Варианты линий членения гидрокостюма
- Рис.1.15 Рейтинг проблемных участков при плавании под водой

- Рис.1.16 Динамические положения гидрокостюма и напряжение кожи во время плавательных движений (а [123], б [107], в [98])
- Рис.1.17 3D-дизайн костюма мотоциклиста (а) [72] и компрессионных брюк (б) [81]
- Рис.1.18 Тестирование виртуального гидрокостюма: а – цифровая деформация [105]; б – цветовая деформации [125]
- Рис.2.1 Определение ориентиров «а» и «б» для разделения ВG на ВG_Г и ВG_В: а – сечения симметричного бюста; б – сечение несимметричного бюста; в – совмещение обхватов груди, талии и бедер с общей сагиттальной линией и средней точкой «о» (О₁ - точка на уровне талии, О₂ - точка на уровне бедер)
- Рис.2.2 Профиль стандартных торсов А1 и А2
- Рис.2.3 Стандартные торсы; а – профили стандартных торсов (У, А, В, С) и подтипов; б – разрезы груди и талии
- Рис.2.4 Манекены для типовой фигуры В и новых подтипов В1 и В2 торса
- Рис.2.5 Схема измерения фигуры Антросканом
- Рис.2.6 Распределение вероятностей графиков Q-Q: а – рост; б – обхват груди
- Рис.2.7 Изменение сечения обхвата груди в статике: а – исходная форма сечения; б – форма сечения после сжатия
- Рис.2.8 Динамические положения тела
- Рис.2.9 Различия между измерениями для фигуры типа А
- Рис.2.10 Фрагмент цифрового двойника женской фигуры: а – сечение обхвата груди до и после компрессии в статике; б, в – сечение обхвата груди до и после смены положения рук в динамике; г – схема редактирования полигональной сетки
- Рис.2.11 Сечение в сагиттальной плоскости в исходном положении и положении наклона верхней части тела вперед
- Рис.3.1 Измерение давления: а – принципиальная схема испытаний; б – система АМІ-3037-10; в – расположение датчиков
- Рис.3.2 Схема измерения деформация обхвата фигуры при удлинении материалов
- Рис.3.3 Значения максимальных деформаций обхватов тела ΔG_{\max} , -%
- Рис.3.4 Графики Q-Q: а – давление P_{\max} ; б – удлинение E_{\max}
- Рис.3.5 E_{\max} на семи обхватах тела: а – растяжение вдоль петельных столбиков трикотажных полотен материала; б – поперек

петельных столбиков материала

- Рис.3.6 Усредненные значения компрессионного давления P_{\max} , кПа, при растяжении полотна: а – вдоль петельных столбиков; б – поперек петельных столбиков
- Рис.3.7 Значения RC_b : а – вдоль петельных ст; б – поперек петельных ст.
- Рис.3.8 Значения RC_m : а – вдоль петельных столбиков полотна; б – поперек петельных столбиков полотна
- Рис.3.9 Блок схема расчета минимальной конструктивной прибавки E_{\min}
- Рис.3.10 Значения E_{\min} : а – вдоль петельных столбиков; б – вдоль петельных рядов
- Рис.4.1 Многослойный материал: а – структура слоев; б – структура поверхности
- Рис.4.2 Диаграммы "растяжение (500 сН/см) – отдых" для М1...М4 вдоль петельных столбиков лицевой поверхности материала
- Рис.4.3 Графики зависимостей удлинения от растягивающей нагрузки: а – вдоль петельных столбиков материала; б – поперек петельных столбиков
- Рис.5.1 Контрольные линии на женской фигуре
- Рис.5.2 Чертежи фрагментов базовой конструкции полноростовой одежды: а – верхняя часть; б – пример нумерации вспомогательных точек; в – нижняя часть; г – рукав
- Рис.5.3 Чертеж базовой конструкции полноростовой одежды
- Рис.5.4 Схема чертежа базовой конструкции гидрокостюма на основе исходного прототипа
- Рис.5.5 Блок-схема процесса компьютерного моделирования гидрокостюма
- Рис.5.6 Примерка гидрокостюма на начальном недеформированном аватаре: а – виртуальное соединение деталей прототипа гидрокостюма; б – участки с плохой посадкой, в – распределение компрессионного давления
- Рис.5.7 Виртуальная примерка базового гидрокостюма (рис. 5.4): а – виртуальное соединение деталей гидрокостюма базового типа; б – примерка в СЛО
- Рис.5.8 Результаты измерения виртуального давления
- Рис.5.9 Схемы проектирования линии реглана: а – положение линии реглана на фигуре спереди (слева) и сзади (справа); б – схема чертежа наилучшего рукава; в – варианты исследованных конфигураций линий реглана

- Рис.5.10 Изменение давления для 49 конструкций рукавов
- Рис.5.11 Этапы проектирования виртуальных двойников фигур и виртуальной примерки в программе CLO 3D
- Рис.5.12 Расположение и допустимые конфигурации формы боковой детали гидрокостюма
- Рис.5.13 Проверка конфигурации ластовицы: а – схема чертежа; б – карта давления; в - карта деформации материала
- Рис.5.14 Схема чертежа передней части гидрокостюма: а – расположение кокетки и центральной части на чертеже и фигуре; б, в – виртуальная примерка гидрокостюма без кокетки и с кокеткой
- Рис.5.15 Детали усовершенствованной конструкции гидрокостюма
- Рис.5.16 Моделирование разработанного гидрокостюма в разных позах: а – P1; б – P2; в, г – P3, P4 (P5, P6); д – карты давления (P1, P2); f – сеточные карты деформации материала (P1, P2)
- Рис.5.17 Внешний вид существующих гидрокостюмов фабричного производства PW (а – на фигуре Y1; б – на фигурах A1 и B1) и внешний вид проблемных участков на существующем PW и разработанном костюме DW (в)
- Рис.5.18 Внешний вид новых гидрокостюмов: а – для фигуры Y1 из материала M2; б – для фигуры Y1 из материала M3
- Рис.5.19 Результаты субъективной оценки в статике
- Рис.5.20 Результаты субъективной оценки в динамике
- Рис.5.21 Результаты измерений давления на тело: а – гидрокостюмы промышленного производства PW; б – разработанный гидрокостюм
- Рис.5.22 Дайвинг эксперимент: а – внешний вид "Ухань дайвинг-центра"; б, в,г – дайвер с аквалангом в разных позах
- Рис.5.23 Результаты субъективной оценки посадки гидрокостюмов DW во время испытаний под водой

СПИСОК ТАБЛИЦ

Таблица 2.1	Типы фигур, участвовавших в эксперименте
Таблица 2.2	Средние значения переднего и заднего полуобхватов для восьми подтипов фигур
Таблица 2.3	Размерные признаки фигуры, полученные с помощью 3D-сканера
Таблица 2.4	Максимальные значения ΔG_{DIF}
Таблица 2.5	Максимальные значения ΔL_{DIF}
Таблица 3.1	Материалы экспериментального гидрокостюма
Таблица 3.2	Рекомендации других исследователей по максимально допустимому давлению
Таблица 3.3	Измеренные значения $E_{max}, \%$ для материалов M1...M4
Таблица 3.4	P_{max} для четырех материалов
Таблица 3.5	Коэффициенты RC_b для материалов M1...M4
Таблица 3.6	Средние RC_m материалов на основных участках торса
Таблица 3.7	E_{min} для M1...M4 и 8 типов телосложения
Таблица 4.1	Значения EMT
Таблица 4.2	Показатели свойств, измеренные при нагрузке 50 сН/см
Таблица 4.3	Коэффициенты корреляции между показателями P_{max} , E_{max} и данными измерений KES
Таблица 4.4	Относительная погрешность между теоретическим и фактическим давлением под материалами M1...M4
Таблица 5.1	Номер варианта
Таблица 5.2	Разница рассчитанного и измеренного значений давления в костюме из материала M2

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. Дайвинг становится все более распространенным во всем мире, и спрос на водолазные костюмы со стороны любителей дайвинга постепенно увеличивается. Применение гидрокостюма (развлечения, профессиональная работа, военное использование и т.д.) дайвинг завоевывает популярность во всем мире, поэтому спрос на водолазные костюмы постоянно увеличивается. Выбор материалов, дизайн, производительность гидрокостюма определяются областью его применения. Главным показателем антропометрического соответствия гидрокостюма является динамический комфорт в погруженном состоянии. Чтобы добиться высоких показателей комфорта гидрокостюма под водой, необходима информация из различных областей знаний: морфология человека, материаловедение, воздействие давления на организм человека, и так далее.

Положительные результаты по улучшению дизайна гидрокостюма были получены в исследовании Дж. Х. Чой, М.М. Наглич, С. Петрак и др. В настоящее время исследователи используют новые информационные технологии для разработки компрессионной одежды. Сканер человеческого тела, как основной инструмент измерения конструктивных участков фигуры, использовался во многих странах (США, Великобритания, Франция, Китай и т.д.) для создания национальных антропометрических баз данных. В работах Ло Юнь, Ли Юэ, И.В. Тисленко (ИВГПУ), И.А. Петросовой (РГУ имени А.Н.Косыгина), бодисканер использовали для проектирования одежды. Виртуальное 3D-моделирование использовали для проектирования одежды и объективной оценки индексов ее потребительских свойств в работах Го Менны и Чэн Чжэ (ИВГПУ). Применение новых методов проектирования для разработки гидрокостюмов гуманизируют процесс принятия решений, повышают комфорт одежды, совершенствует виртуальную среду проектирования «тело-гидрокостюм», позволяя дизайнеру выполнить

виртуальную примерку и оценить качество художественных решений на ранних стадиях проектирования.

Работа выполнена в 2016-2020 гг. на кафедре конструирования швейных изделий ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет» по государственному заданию НИР № 2.2425.2017/4.6 на тему **"Разработка программного обеспечения для виртуального проектирования статичных и динамичных систем "фигура-одежда" и проведения виртуальных примерок одежды FashionNet"**.

Работа соответствует следующим пунктам паспорта научной специальности 05.19.04: 1. Разработка теоретических основ и установление общих закономерностей проектирования одежды на фигуры типового и нетипового телосложения; 5. Совершенствование методов оценки и проектирование одежды с заданными потребительскими и технико-экономическими показателями.

Степень разработанности темы. В настоящее время нет общего метода проектирования женского гидрокостюма, возникающие проблемы не изучены и не систематизированы. Одна из главных задач проектирования - обеспечение свободы движений в подводном состоянии для различных женских морфологий. При существующем подходе задают отрицательные прибавки для сжатия человеческого тела, что, очевидно, в полной мере не учитывает его морфологию. С целью повышения комфорта и показателей функциональных свойств гидрокостюма необходимо учитывать морфологию тела человека, его восприимчивость к давлению материала, обеспечивая оптимальное членение деталей гидрокостюма, а также динамическое прилегание и комфорт.

Ключевые слова: женская фигура, конструкция гидрокостюма, давление, динамическая посадка.

Целью исследования является улучшение процесса проектирования женского гидрокостюма.

Основные задачи работы. Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

1. Изучить современный дизайн, технологию изготовления и материалы женского гидрокостюма, обобщить всю связанную информацию, включая толщину материала, швейную строчку и все возможные положения их контуров/внутренних линий на поверхности женских тел, сделать художественные и конструктивные оценки и анализ;

2. Разработать новую схему группировки женских торсов на основе существующей классификации женских фигур, для оптимального расположения линий членения.

3. Изучить динамический диапазон деформации женских мягких тканей на различных участках фигуры в условиях над и под водой;

4. Изучить зависимость деформации материала гидрокостюма и изменением размеров участков фигуры.

5. Измерить допустимый диапазон давления и пределы деформации для различных участков фигуры.

6. Разработать индекс, позволяющий выявить зависимость комфортности гидрокостюма от его дизайнерского решения.

7. Усовершенствовать метод конструирования женского гидрокостюма.

8. Оценить и проверить технологию проектирования шаблонов деталей гидрокостюма в соответствии с системой «деформируемый аватар-гидрокостюм» в виртуальной среде CLO 3D.

9. Сделать апробацию, проведя оценку и проверку теоретических разработок. Рациональность процесса проектирования женских гидрокостюмов необходимо проверить с практической точки зрения и установить критерии оценки качества результатов, полученных в процессе виртуального моделирования.

Объекты исследования –женские фигуры различных антропологических типов, женские гидрокостюмы, материалы для гидрокостюмов, реальные и виртуальные системы «тело (аватар) - гидрокостюм», процесс построения и виртуальное моделирование.

Предмет исследования – процесс конструирования женского гидрокостюма.

Методы и средства исследования. Для измерения, считывания и визуализации изображений отсканированных тел (называемых сканатарами) использовали 3D-сканер VITUS Smart XXL (Human Solutions, Германия, стандарт DIN EN ISO 20685) с программой Anthroscan. Систему оценки Kawabata KES (Япония) использовали для проверки механических свойств текстильных материалов. Пневматический датчик давления AMI3037-10П (Япония) использовали для регистрации давления одежды на тело. Виртуальное программное обеспечение CLO 3D применили для виртуального моделирования фигуры и примерки. 3ds Max применяли для редактирования полигональных объектов фигуры. SPSS использовали для анализа результатов измерений с помощью корреляционного и регрессионного анализа, анализа надежности и проверки нормальности распределения результатов измерений.

Научная новизна заключается в установлении динамических изменений размеров различных частей женской фигуры под воздействием водной среды и эргономических поз и их применении для получения разверток деталей гидрокостюма.

Следующие научные результаты получены впервые.

1. Разработан новый метод группировки женских фигур для улучшения качества женского гидрокостюма, основанный на новых измерениях передней и задней частей торсов.

2. Установлена взаимосвязь между деформацией материала гидрокостюма и давлением, оказываемым на мягкие ткани женских тел,

получены уравнения для прогнозирования значений давления и предложен индекс степени сжатия.

3. Установлены допустимые границы изменения обхватов женских фигур для различных частей тела.

4. Установлено влияние гидравлического давления и эргономических поз на изменение размерных признаков женских фигур.

Положения, выносимые на защиту:

1. Новая группировка женских торсов.
2. Метод оценки сжатия различных обхватов фигуры материалами гидрокостюма.
3. Динамические изменения женских фигур в условиях нахождения под водой.
4. Новый метод проектирования женского гидрокостюма.
5. Виртуальные двойники деформированных женских фигур в виртуальной среде для проверки дизайна гидрокостюма и определения компрессионной способности материалов.

Теоретическая значимость исследования заключается в установлении значений критических факторов, включающих новую антропометрическую группировку женских торсов, деформацию мягких тканей под влиянием типичных подводных поз и гидравлического давления, для создания динамической комфорта женского гидрокостюма.

Практическая значимость исследования заключается в разработке методике измерения человеческих фигур и 3D метода дизайна женского гидрокостюма с симуляцией динамической посадки и комфортного состояния под водой. Это поможет дизайнерам гидрокостюмов осуществлять быструю модификацию и оптимизацию чертежей, повысить производительность и учесть условия эксплуатации.

Достоверность результатов и выводов обеспечивается совпадением результатов экспериментальных и теоретических исследований,

статистической адекватностью полученных уравнений, использованием современных и проверенных измерительных приборов.

Апробация полученных результатов. Результаты исследования докладывались и получили положительную оценку на следующих конференциях: вторая международная научно-практическая конференция "Модели инновационного развития текстильной и легкой промышленности на базе интеграции университетской науки и индустрии. Образование-наука-производство" (Казань, 2016); Всероссийская научная студенческая конференция "Инновационное развитие легкой и текстильной промышленности (ИНТЕКС-2016)" (Москва, 2016); международной научно-практической конференции "Моделирование в технике и экономике" (Витебск, 2016); Информационная среда вуза (Иваново, 2017); всемирной текстильной конференции (Стамбул, Турция, 2018); Международной текстильной конференции АІТАЕ 2018 (Митилини, Греция, 2018); международной конференции по вычислительному моделированию и прикладной математике (Ухань, Китай, 2018); International Conference on Advanced Materials, Electronical and Mechanical Engineering AMEME (Сямынь, Китай, 2020); International Conference on Technics, Technologies and Education ICTTE (Ямбол, Болгария, 2020); в образовательном цикле «Новые возможности для каждого» национального проекта «Образование» (Иваново, ИВГПУ, 2020).

Основные результаты работы опубликованы в 12 работах, включая одну статью в российских журналах из перечня ВАК, шесть статей в англоязычных журналах, входящих в базу Web of Science, пять тезисов и материалов конференций, общий объем которых составляет 3,625 п.л. (личный вклад 1,8 п.л.).

Структура диссертации. Диссертация состоит из 5 глав, изложена на 184 стр., включает 18 таблиц, 65 рисунков, 5 приложений, 176 литературных источника.

ВСТУПЛЕНИЕ

Цифровизация индустрии моды, активно происходящая в последнее десятилетие, значительно расширяет возможности в принятии научно-обоснованных конструкторско-технологических решений. Все чаще компьютерные программы используют не только по их прямому назначению, но и в новом качестве средств технологического исследования. Благодаря мощному функционалу, компьютерные программы позволяют моделировать разные ситуации, выбирать рациональные решения из множества возможных вариантов и прогнозировать последствия их материальной реализации.

Накопленный опыт компьютеризации процессов подготовки новых моделей одежды к производству позволяет позитивно рассматривать их возможности для решения более сложных проблем. Традиционно проектирование эргономичной компрессионной одежды, эксплуатируемой в необычных условиях, вызывает сложности у практикующих конструкторов из-за отсутствия научно-обоснованных алгоритмов проектирования. Для создания таких алгоритмов необходима обширная база данных, включающая формализованную информацию обо всех элементах, участвующих в создании качественного изделия: фигуре человека в статике и динамике, значимых показателях свойств материалов, чертежах деталей как прообраза плоской развертки одежды и внешних условиях. Многофакторность процесса и сложность поиска рациональной комбинации факторов не гарантируют получения единственно верного решения. Естественно, что современные компьютерные технологии, предоставляющие такую возможность, открывают новое направление в промышленном дизайне одежды.

Целью настоящей научно-квалификационной работы является разработка базы знаний и базы правил для применения существующих технологий бодисканирования и компьютерных 2D и 3D программ для генерирования виртуальных двойников женских фигур и гидрокостюмов в динамических условиях функционирования под водой.

Глава 1. ОБЗОР СОВРЕМЕННОГО ДИЗАЙНА ЖЕНСКОГО ГИДРОКОСТЮМА

1.1. Введение в гидрокостюм

1.1.1. Краткая история гидрокостюма

Дайвинг становится все более распространенным во всем мире, и спрос на гидрокостюмы со стороны любителей подводного плавания постоянно растет. Это важное снаряжение для водолазных работ, широко используемое в военном и гражданском водолазном плавании. Дайвинг имеет более чем 2000-летнюю историю. Он используется для спасения, ремонта, подводных исследований и инженерных работ с профессиональными инструментами или без них, он был популярен в военных действиях во время Второй Мировой Войны.

Первый гидрокостюм В. Марк изготовил в 1910-х. Он разработан для ВМС США и в основном используется в глубоководных аварийно-спасательных работах, чтобы обеспечить максимальную защиту тела [48]. Ученые DuPont изобрели неопрен (DuPrene) в 1930 году [53]. Настоящей отправной точкой развития водолазного костюма стало окончание Второй мировой войны. В 1952 году американский физик Х. Брэднер создал прототип гидрокостюма, а Дж. Фостер смоделировал ранний дизайн гидрокостюма Брэднера в 1953 году (рис. 1.1 а) [120]. В том же году Джек О'Нил создал первый жилет для гидрокостюма из неопрена вместо поролона, который он продавал в магазинах для серфинга (рис. 1.1 б). Более того, Боб и Билл Мейстрелл создали компанию Body Glove Company и начали коммерциализацию водолазных костюмов.

В 1950 г. гидрокостюм изготавливали из губчатой резины и необработанной вспененной ленты. Пользователи использовали тальк, чтобы предотвратить появление сыпи, потому что у гидрокостюма не было подкладки, а клей и термосвариваемая лента делали швы гидрокостюма

жесткими и неудобными. Эти ранние гидрокостюмы были плохого качества и недолговечны [61]. Позже во внутреннем слое гидрокостюма был использован нейлон, уменьшающий трение кожи. В 1960-х гидрокостюмы имели внешнюю подкладку и нейлоновую внутреннюю подкладку. В 1970-х годах в центре внимания разработки оказались гидрокостюмы, благодаря чему появилась улучшенная технология склеивания швов.



а



б

Рисунок 1.1 – Самый ранний гидрокостюм: а – жилет JackO’Neil; б – И.С. Фостер моделирует первый гидрокостюм Брэнднера [120]

С конца 20 века до начала 21 века, благодаря широкому применению новых технологий и материалов, водолазное снаряжение стало легче и экономичнее. Дайвинг стал переходить от профессионального занятия к массовому досуговому спорту и постепенно стал новым модным спортивным видом активного отдыха.

По конструкции гидрокостюм аналогичен купальнику. Купальник стал своеобразным предметом одежды в 19 веке. В начале 1910-х годов появился цельный короткий купальник [24]. Затем купальник покрывает все больше и больше участков человеческого тела, становится тесным и эргономичным. Подобно водолазному костюму в полный рост, купальники похожи по внешнему виду, но их материалы явно отличаются. История эволюции олимпийского плавательного костюма показана на рис. 1.2.



Рисунок 1.2– История развития олимпийского костюма [74]

1.1.2. Текущая ситуация на рынках гидрокостюмов

Активный дайвинг хорошо влияет на восстановление организма человека после травм, улучшает сердечно-легочную функцию и подавляет развитие раковых клеток [122]. Из-за повышенного гидравлического давления и давления на поверхность тела расширяются капилляры и улучшается функция кровообращения в подкожных кровеносных сосудах. Водная среда оказывает существенное влияние на спортивные травмы суставов, костей и мышц. Поэтому реабилитация после спортивных травм сочетается с дайвингом в области спортивной медицины; дыхание под водой с высоким содержанием сжатого воздуха или кислорода может улучшить работу сердца и легких человеческого тела при правильном погружении; а сбалансированное гидравлическое давление на тело способствует циркуляции крови [102, 110].

Дайвинг можно разделить на три категории: досуг / спортивный дайвинг, профессиональный дайвинг и военный дайвинг.

1) Досуг / спортивный дайвинг

Досуг и спортивный дайвинг получил развитие 50 лет назад в Европе, США и других странах. Согласно статистике, более 60 миллионов человек в США имеют сертификаты дайвинга, что составляет 40 % всех дайвинг-мероприятий в мире. На Европу и Австралию также приходится 40 %. Досуг и спортивный дайвинг в Европе и Америке имеют значительные промышленные масштабы, которые в настоящее время являются основным

потребительским рынком оборудования для дайвинга. Мировые дайвинг-центры в основном расположены в Европе, Египте, Австралии, Юго-Восточной Азии, южной части Тихого океана, Карибском бассейне; Российские дайвинг-центры в основном расположены в Баренцевом море, Белом море, Байкале. Китайские дайвинг-центры в основном расположены в провинции Хайнань, на Тайване, на островах Сиша, в Восточно-Китайском море и т. д.

На основе отчета «Перспектива компании Zhongqian (Китай) 2016». стоимость гидрокостюмов, оборудования и услуг на мировом рынке составляет примерно 2,625 триллиона рублей, а на рынок Китая приходится около 36,7 млрд рублей. С развитием дайвинг-туризма в Китае доход от дайвинг-туризма в 2015 году почти достиг 2,5 млрд рублей и сохранил годовой темп роста на уровне 30%. Согласно статистике Китайской подводной ассоциации (CUA), в 2019 году более 8 миллионов человек приняли участие в занятиях дайвингом в некоторых прибрежных городах Китая. Согласно ежегодному исследованию China Dive Community, на сегодняшний день в Китае зарегистрировано 1300 дайвинг-клубов. В настоящее время более 60% китайских энтузиастов дайвинга - женщины моложе 30 лет, 58% покупателей снаряжения для дайвинга - женщины, а 83% из них имеют степень бакалавра или выше, их профессиональные области сосредоточены в отраслях с высокими требованиями и высокими зарплатами. такие как культура, финансы, бизнес, консалтинг и т.д. [45].

Согласно недавнему отчету Ассоциации по маркетингу и оборудованию для дайвинга (DEMA), общее количество дайверов во всем мире составляет более 30 миллионов [44]. Более того, крупнейшая в мире организация по обучению подводному плаванию с аквалангом PADI выдала более 27 миллионов сертификатов дайверов по всему миру [64], к 2019 году ежегодный рост количества китайских сертификатов дайвинга составляет около 40%, что в 8 раз превышает средний мировой рост. Согласно «Отчету об участии в подводном плавании с аквалангом за 2019 год»,

опубликованным Ассоциацией индустрии спорта и фитнеса (SFIA), в США 3 миллиона участников, из них 24,5% - люди в возрасте от 25 до 34 лет, 32% ныряют более 8 раз в год [66].

2) Профессиональный дайвинг.

Профессиональные области водолазной индустрии включают традиционные работы по спасению затонувших кораблей или объектов, а также расширенные области применения, такие как разработка минеральных ресурсов, подводные лодки, спасение людей в чрезвычайных ситуациях, устранение препятствий, строительство мостов и туннелей, разведение морепродуктов. и рыболовство, научные эксперименты и т.д., объем услуг охватывает все реки, озера и моря.

Согласно статистике и анализу Китайской ассоциации подрядчиков по дайвингу и спасанию в 2020 году во всем мире профессиональным дайвингом занимались около 3 миллионов человек, включая рыболовство, промышленность, аварийно-спасательные работы, поисково-спасательные работы, морские перевозки. археология и разведка и т. д., из которых на Китай приходится более 5%.

3) Военный дайвинг.

В военной области гидрокостюм является необходимым оборудованием для подводных пловцов, подводных сил и глубоководных спасательных сил.

1.1.3. Современный стиль дизайна гидрокостюмов

Дайвинг часто происходит в холодной воде. Даже в теплом климате подводные ныряльщики будут носить гидрокостюмы, чтобы согреться. Например, дайвер может выжить только около 3,5 часов на глубине -10 м без гидрокостюма, а дайвер в гидрокостюме может прожить около 24 часов в воде при той же температуре [47]. Предел глубины определяется сертификационным органом, глубина погружения начального уровня по ISO 24801/24802 не должна превышать 18 м или 20 м, дайверы более высокого

уровня могут погружаться на 30, 40, 50 или 60 м в зависимости от уровня сертификации и агентства.

Основные требования к гидрокостюмам - тепловая защита человеческого тела от переохлаждения и травм [76]. В зависимости от функции и назначения гидрокостюмы разделяют на сухие, полусухие и мокрые (рис. 1.3).



Рисунок 1.3–Виды и области применения гидрокостюмов

Сухой гидрокостюм обеспечивает полную изоляцию от воды и имеет воздушную прослойку. Он в основном используется в глубоких водах и сточных водах. Выполняемые в нем операция очень сложные, а цена высокая. Требования к профессиональным компетенциям дайвера высокие.

Полусухой водолазный костюм имеет герметизацию с помощью резиновых обручей вокруг шеи, запястья и лодыжек, чтобы сохранить тело сухим и теплым, с теми же основными характеристиками, что и сухой

водолазный костюм. Такие уплотнения радикально уменьшают количество воды, которая может попасть внутрь костюма. Только ступни, кисти рук и голова непосредственно подвергаются воздействию воды; иногда используют головные уборы, перчатки и другие предметы для сохранения тепла, в основном используемые в водолазном туризме, рыбной ловле, подводном строительстве [65].

Мокрые гидрокостюмы наиболее часто используют при занятиях водным отдыхом (например, дайвинг, серфинг и т. д.), Также известны костюмы для фридайвинга, которые могут быть оснащены аквалангом (автономным подводным дыхательным аппаратом). Мокрые гидрокостюмы в основном не обеспечивают полную герметизацию, когда тело попадает в воду: неопрен пропускает небольшое количество воды через костюм и тело нагревает этот слой воды почти до температуры тела. Поскольку этот слой воды не может выйти наружу, он создает барьер между кожей и холодной водой, окружающей тело. Гидрокостюмы легкие и гибкие, удобные в носке, низкие по цене, с невысокими производственными затратами подходят для занятий дайвингом и спортом. Основное отличие от сухого костюма и полусухого костюмов - пропускание воды [153]. На рис. 1.4 показаны различные виды гидрокостюмов и соответствующие температуры.

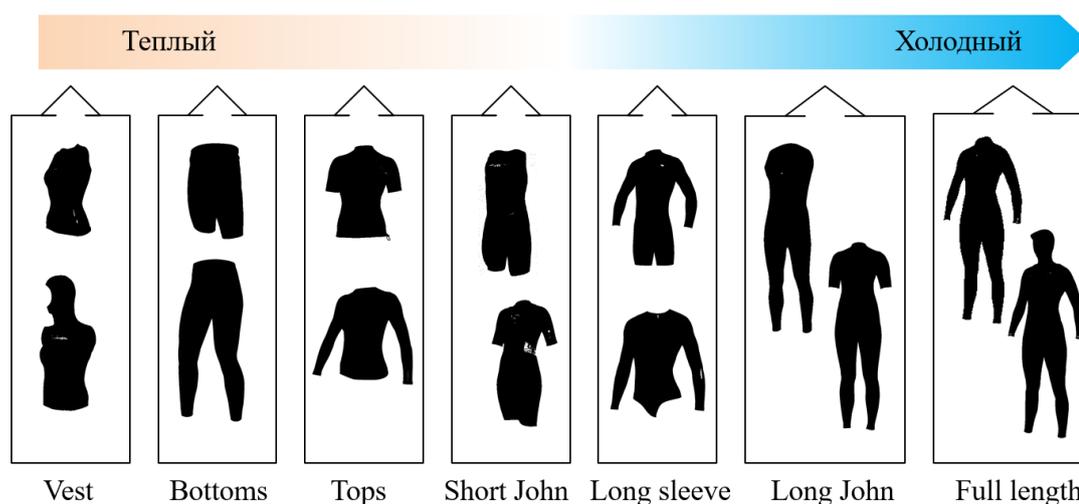


Рисунок 1.4–Типы гидрокостюмов: vest жилет, bottoms - брюки, tops - верх, shortJohn -короткий комбинезон, long sleeve - с длинным рукавом, longJohn - длинный комбинезон, full length - полноростовый

Жилет, низ, верх (Vest, bottom, tops) это виды гидрокостюмов, обычно короткие для дайвинга в теплое время года на мелководье.

Короткий комбинезон/длинный рукав (Short John / long sleeve) это гидрокостюмы с короткими брюками до бедра. Короткие гидрокостюмы предназначен для поддержания летних сезонов.

Длинный комбинезон (Long John) покрывает туловище и ноги; он не имеет ограничений для движения рук и подходит для активного плавания при более низких температурах.

Полноразмерный (длинный тип) (Full length) это цельный гидрокостюм с длинными рукавами и брюками, обычно с застежкой-молнией спереди или сзади с длинным шнурком, чтобы его можно было тянуть вверх и вниз.

По мере того, как количество пользователей гидрокостюмов продолжает расти, они предъявляют все более высокие требования к функциональности, комфорту и эстетике гидрокостюмов, материалам, конструкции и структуре. Правильная конструкция обеспечивает оптимальный тепловой режим. Слишком свободный костюм позволит большому количеству воды протекать внутрь, а слишком тесный костюм очень неудобен и может нарушить кровообращение. Тепловой баланс внутри костюма зависит от объема поступающей воды и толщины материала. Чем меньше циркуляция морской воды между ними, тем выше теплозащитные свойства. Поэтому костюм должен соответствовать морфологии тела дайвера [142]. По этой причине многие дайверы заказывают индивидуальные гидрокостюмы для оптимизации тепловых условий [78].

Поток воды между кожей и одеждой в основном зависит от структуры гидрокостюма, изоляционных свойств материала и наличия специального плавательного средства. Гидрокостюмы также можно классифицировать по виду материалов, толщине, спортивному типу, внешнему виду и стилю, а также положению застежки-молнии.

Стиль и структура гидрокостюмов. Чтобы удовлетворить потребности профессиональных дайверов, заднюю часть гидрокостюма конструируют длиннее передней части [37]. Течение воды является основным сопротивлением при плавании, плотно облегающая тело конструкция костюма снижает его сопротивление при плавании. Рукав покроя реглан увеличивает диапазон движений плеча, а линии членения рукава разрабатывают в соответствии с морфологическими и антропометрическими размерами и особенностями человеческого тела и плавательной активностью спортсмена. Во время плавания руки человека выбрасываются вперед, поэтому конструктивно рукава часто проектируют с наклоном вперед.

Исходя из характеристик материалов гидрокостюма, можно использовать разрезные швы вместо вытачек [23], как показано на рис. 1.5. В гидрокостюме хорошего качества швы всегда должны находиться вдали от очень гибких участков и не должны проходить через плечи или подмышки, поскольку они будут влиять на области гребли. Чем больше швов, тем лучше будет посадка гидрокостюма, но уменьшается его гибкость и увеличивается трение. Швы можно проклеивать, чтобы предотвратить попадание воды; чем меньше швов, тем меньше вероятность попадания воды в костюм [50]. Основу расчета конструкций швов можно условно разделить на следующие два случая:

1) Для защиты, как показано на рис. 1.5. Первый вариант включает использование различных материалов или покрытий для защиты уязвимых участков фигуры, в основном локтей и коленей, плеч и промежности (рис. 1.5а). В другом варианте использует разные цвета: яркие и привлекающие внимание цвета можно легко увидеть при поиске дайвера в случае опасности. Австралийские ученые используют характеристики дальтонизма акул и применяют сочетание скрытых цветов, чтобы акулы могли легко смешивать его с цветом морской воды, что обеспечивает «невидимый» эффект [51], например, гидрокостюм SAMS (Shark Attack Mitigation Systems) гидрокостюм (рис. 1.5 б).

2) Для достижения комфорта и посадки на основе динамичного эргономичного дизайна [69]. Например, локтевой и коленный суставы лучше всего покрывать растяжимыми материалами, чтобы швы отвечали условиям человеческой деятельности благодаря использованию высокоэластичных материалов в зонах легкой деформации [41].



Рисунок 1.5–Швы для обеспечения защиты: а – различные материалы и покрытия на колене; б – цветное оформление гидрокостюма SAMS [59]

1.1.4. Технология изготовления гидрокостюмов

Конструкция гидрокостюмов, как было сказано, играет важную роль в тепловой защите и ограничении циркуляции воды по телу. Вода может попадать в гидрокостюмы через застежки-молнии и швы. Разные производители используют разные методы, например, потайную строчку, склеивание, приклеивание лент и жидкие клеи, чтобы уменьшить количество проникающей воды [58]

К гидрокостюму предъявляют высокие технологические требования, и основной производственный процесс можно условно разделить на четыре этапа: раскрой; сшивание и склеивание; обработка швов; обметывание срезов.

Процесс шитья сложен и включает выполнение обметывание срезов на оверлоке, выполнение плоских швов и потайных строчек, как показано на рис. 1.6 [111].

Оверлочный шов (Overlock stitch/seam) – самый простой способ шитья и наименее эффективный для защиты от воды. Он не используется для

высококачественных гидрокостюмов, его можно найти только в летних или более дешевых гидрокостюмах. Два среза складывают вместе, а потом сшивают. Этот метод снижает гибкость шва, а также формирует выпуклость на внутренней стороне гидрокостюма, что может быть неудобно и приводить к натиранию.

Плоский шов (Flatlock stitch/seam) – самый простой и наименее дорогой шов в гидрокостюме (рис. 1.6 а), включает в себя наложение одного среза на другой, а затем настрочивание, например, на 4-игольной 6-ниточной швейной машине. Недостатком плоского шва является то, что в процессе его образуется много отверстий, для него характерно проникновение воды. Это делает его подходящим для серфинга летом или в теплой воде [60, 108].

Потайной шов (Blind stitch/seam) используют для соединения срезов встык и склеивания с внутренней стороны, но сшивание не видно на внешней стороне деталей. Результатом является получение водонепроницаемых гибких швов. Это идеальный шов для холодной воды, его можно найти на более качественных и дорогих гидрокостюмах. (рис. 1.6 б). Такой шов также называют GBS (glue blind seam - клееный и невидимый шов) [46].

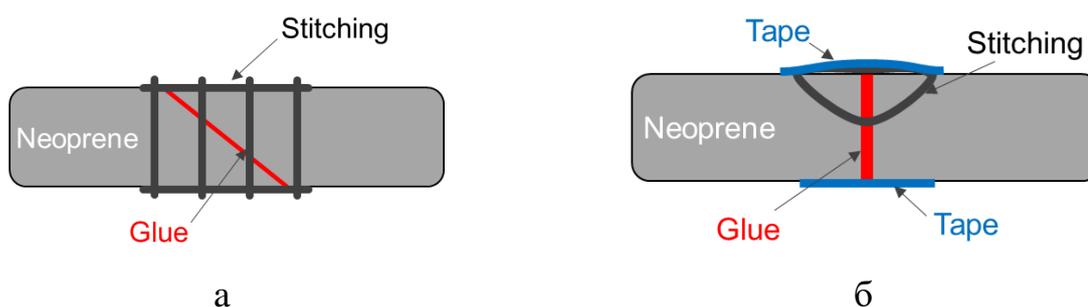


Рисунок 1.6– Способы соединения деталей: а – плоский шов замок с клеем; б – потайной стежок с клеевой лентой

Герметичные швы (Sealing seams) получают путем прикрепления герметика к внутреннему шву или изнаночной поверхности двух панелей для быстрого соединения. Герметизированные швы имеют лучшую прочность и

устойчивость к стирке [118, 124]. Существуют несколько методов увеличения водонепроницаемости гидрокостюма и увеличения прочности швов.

- Клееные швы (Glued) для гидрокостюмов начального и среднего уровня: детали склеивают между собой перед сшиванием, что увеличивает прочность шва и создает водонепроницаемое уплотнение;

- Точечные проклеенные швы (Spot Taped), которые используют для предотвращения протечек или разрывов швов на пересечениях и в местах напряжения гидрокостюма;

- Полностью проклеенные швы (Fully Taped) на внутренней и внешних сторонах. Обычно они очень эластичные и добавляют дополнительную прочность и комфорт;

- Жидкая лента (Liquid taped) для идеальной герметизации в виде специальной жидкой резины, ее наносят на внутреннюю, внешнюю или обе стороны [160], что делает шов абсолютно водонепроницаемым. Используют только в высококачественных гидрокостюмах. Самым эффективным способом является соединение потайной строчки и приклеивание жидкой ленты для создания плоского шва [63].

Как правило, на поверхности локтей и коленей обычно наносят слой эластичного износостойкого материала или трехмерного вспененного каучука.

Тесьма-молния гидрокостюма. Чтобы уменьшить просачивание воды через молнию и сохранить тепло, используют водонепроницаемую молнию, но ее цена вдвое выше, чем у обычной молнии гидрокостюма. Кроме того, планку на липучке с другим материалом на задней стороне молнии используют для уменьшения проникновения воды (рис. 1.7).



Рисунок 1.7– Расположение застежки-молнии: а –вертикальная молния спереди; б –горизонтальная молния спереди; в– молния в горловине спереди O’Neill Double super seal (широкие возможности для регулирования и надежной фиксации, полностью регулируемая и водонепроницаемая); г– молния сзади, O’Neill F.U.Z.E. Система (Front Upper Zip Entry) обеспечивает абсолютную водонепроницаемость и неограниченную гибкость [43,50]

1.2. Текущий материал гидрокостюма

1.2.1. Краткая классификация материала гидрокостюма

В материале для гидрокостюма обязательно используют неопрен. А.М. Коллинз [61] выделил хлоропрен, жидкость, которая полимеризуется с образованием твердого материала, напоминающего каучук. Этот продукт был первым синтетическим каучуком и известен сегодня как неопрен (Neoprene) [54]. Материал современного гидрокостюма представляет собой комбинацию нескольких материалов, как показано на рис. 1.8.

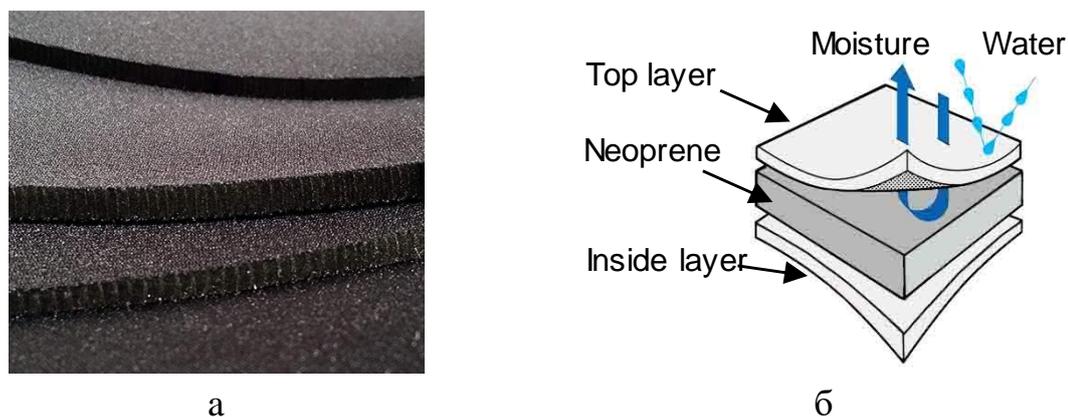


Рисунок 1.8– Материал гидрокостюма: а – материалы разной толщины;
б –состав многослойного материала

Композиционный материал состоит из трех слоев: снаружи / внутри - эластичный уточный трикотаж, в середине - пористый поролон (рис. 1.8) [67], обычно неопрен, который снижает сохранение тепла, поскольку он сжимается и утончается при нырянии [161]. В настоящее время на рынке представлены различные типы материалов (нейлон, лайкра, нейлоновый трикотаж, мерсеризованная ткань и т. д.), Наиболее часто используемые снаружи / внутри материалы - это лайкра и нейлон, но цена материалов с лайкрой намного выше, чем с нейлоном. Обычно используют вспененные каучуки «CR», «SCR» и «SBR».

Хлоропеновый каучук (Chloroprene-rubber, CR) – это вид синтетического каучука, который также известен под торговым названием «Неопрен», с хорошими характеристиками мягкости, теплозащитности и эластичности, который является основным материалом для изготовления гидрокостюмов высокого уровня.

Бутадиен-стирольный каучук (Styrene-butadiene rubber, SBR) используют для низкоуровневых гидрокостюмов.

Стирол-хлоропеновый каучук (Styrene-chloroprene rubber, SCR) состоит из CR и SBR и имеет хорошую гибкость, а эластичность и комфорт зависят от пропорции CR, это наиболее часто используемый материал на рынке [84].

Рис. 1.9 показывает зависимость между температурой воды и толщиной композиционного материала. Рекомендуемая толщина зависит от разницы

физических температур.

Промышленность производит несколько типов материалов для разных сред. Толщина материала обычно 0,5...7,0 мм. Для подводного плавания с аквалангом толщина обычно составляет 5...7 мм для холодной воды, материалы тоньше 5 мм используют для теплой воды, а тонкая «кожа для дайвинга» (около 0,5 мм) предназначена для температуры выше 28°C [56].

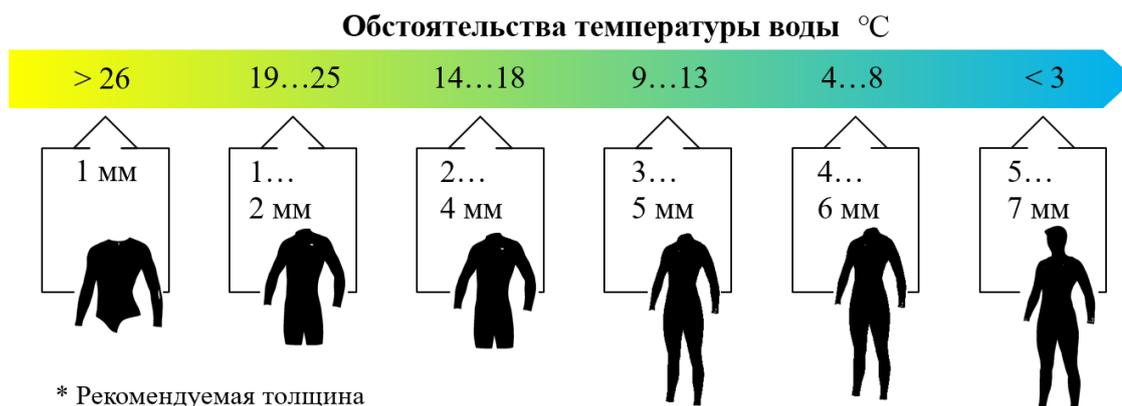


Рисунок 1.9– Зависимость между температурой воды и толщиной композиционного материала

Современный гидрокостюм высокого уровня всегда имеет разную толщину для разных частей тела и разных целей и условий [55]. Вот почему в описании часто встречаются разные числа. Толщина обычно меньше на руках и ногах, чтобы гарантировать свободу движений конечностей серфера без чрезмерных ограничений во время серфинга. Показатели толщины разделяют знаком «/» или «0», причем каждое число будет соответствовать разной толщине. Первое число (число слева) обозначает толщину материала для туловища. Второе (а иногда и третье) число указывает толщину материала для конечностей. Например, «Полный гидрокостюм 6/5/4 мм» - это гидрокостюм, который можно использовать в очень холодной воде. Он имеет толщину 6 мм на туловище, 5 мм на руках и 4 мм на ногах. Гидрокостюм из композиционного материала с постоянной толщиной 6 мм будет очень ограничивать подвижность дайверов, и им будет сложно грести и заниматься

серфингом [57]. Кроме того, колени и локти являются наиболее активными частями с небольшой толщиной, но эти части легко изнашиваются, поэтому покрытие, как было сказано, обычно наносят на поверхность.

Комбинирование материалов является компромиссом между сохранением тепла и достижением комфорта при серфинге и гибкостью: чем толще неопрен, тем он менее гибкий, но теплее [37]. Гибкость гидрокостюмов и способность сохранять тепло напрямую связаны со свойствами неопрена и конструкцией гидрокостюма.

По мере увеличения глубины погружения традиционные вспененные резиновые материалы становятся тоньше и теряют тепло, комфорт и гибкость. Чтобы устранить недостатки традиционных материалов, многие зарубежные дайвинг-компании начали изучать применение новых материалов в гидрокостюмах. Появление новых материалов может значительно улучшить комфорт, сохранение тепла и защиту человеческого тела.

Достигнутые достижения включают ламинированные композитные материалы для гидрокостюмов, производимые компанией Malden Mills, и новые материалы для гидрокостюмов (внешний слой - синтетическое эластичное волокно, а внутренний слой - длинный плюшевый материал) в США и т. д. [36]. В 2002 году водолазный костюм с регулируемой температурой принял технологию «умной кожи», принцип его работы заключается в том, что гидрогель расширяется после поглощения воды, а затем снижает скорость проникновения внутреннего слоя вспененного материала, чтобы контролировать поток воды в гидрокостюме. и заставляют дайверов поддерживать соответствующую температуру кожи в различных условиях дайвинга [134].

В последние годы появившиеся на рынке титансодержащие гидрокостюмы стали очень популярны, поскольку они вдвое усиливают защиту теплового материала при той же толщине. Китай также разработал некоторые несжатые пеноматериалы, В. Чжэнь [141] применил их к поролону, которые значительно улучшили его теплоизоляционные характеристики.

1.2.2. Связь между показателями свойств материалов и структурой одежды

В современных гидрокостюмах основное внимание уделяется не только его основным характеристикам, но и сложной взаимосвязи удлинения, давления и комфорта.

Компрессия и воздушный зазор между телом и костюмом зависят не только от размеров тела и конструкции, но также от показателей механических и структурных свойств выбранного материала [2]. Что касается показателей механических свойств материалов), то многие ученые и раньше исследовали физические параметры материала при удлинении. Ч. Чэн и др. [14] проанализировали показатели свойств различных трикотажных материалов с помощью KES, который используют для изучения взаимосвязи между эластичными свойствами и дизайном узкого рисунка одежды.

Для компрессионной одежды удлинение материала и динамическое положение тела влияют на возникающее давление. Величина воздушного зазора может быть обеспечена за счет комфортного диапазона давления материала. Д. Сюй [155] разработал базовый тип купальника по антропометрическим данным, а затем модифицировал купальник в соответствии с характеристиками материала и конструктивными параметрами. М. Хуанг и др. [70] проанализировали математический принцип прототипа герметичного торса и получили конструкцию герметичного прототипа из высокоэластичного материала, основанного на оптимальном давлении. З. Ченг [176] разработал конструктивные прибавки для различных обхватов путем анализа давления различными материалами на нижние части туловища.

Для гидрокостюмов же необходимы комплексные исследования деформации мягких тканей фигуры под воздействием материала, эргономических положений фигур и гидравлического давления столба

жидкости вместо традиционной чувствительности к давлению. Для этого необходимо найти ключевые параметры, которые больше всего влияют на давление и усилие сжатия, установить уравнения для описания взаимосвязи между удлинением материала, деформацией мягких тканей, давлением и максимальной способностью материала к сжатию.

Подводя итог, можно сказать, что исследований по проектированию гидрокостюмов и получению их чертежей в настоящее время мало. Следовательно, необходимо разработать общий метод получения разверток облегчающего гидрокостюма на основе антропометрических данных, структуры и параметров материала.

1.3. Компрессионное давление и комфорт ношения

1.3.1. Классификация компрессионной одежды

Давление в одежде - один из самых важных факторов, влияющих на комфорт одежды, а также важный показатель для оценки качества ее проектирования. Давление одежды - это возникающая в вертикальном направлении сила под одеждой. В зависимости от силовых характеристик давление одежды можно разделить на три категории: концентрированное, весовое, и давление трения [88]. Характер этих трех видов давления и воздействия на организм человека не совпадают.

- Весовое давление вызвано весом одежды.

- Концентрированное давление вызвано чрезмерным затягиванием одежды.

- Давление трения относится к давлению на человеческое тело в результате его динамического контакта с одеждой из-за небольших конструктивных прибавок в одежде и большого трения между материалом и телом. В 2000 году Ч. Дуншэн [10] установил, что давление в гидрокостюмах часто возникает в локтях, коленях, бедрах и спине. Давление тесно связано с функцией движения одежды.

На рис. 1.10 показаны области исследования женской компрессионной одежды. Давление одежды широко используется в различных областях: спортивная, коррекционная(формирование фигуры) и медицина.

В настоящее время большинство международных исследований компрессионной одежды посвящены физиологическим характеристикам человеческого тела или функциональному анализу компрессионной одежды различных стилей и материалов, или краткосрочным субъективным и объективным физиологическим тестам, проводимым спортивными и оздоровительными учреждениями. Экспериментальные образцы - это в основном покупные продукты или простые модифицированные продукты, а среднее общее количество тестовых образцов (образцы человеческого тела и материалов) относительно невелико (менее 30).

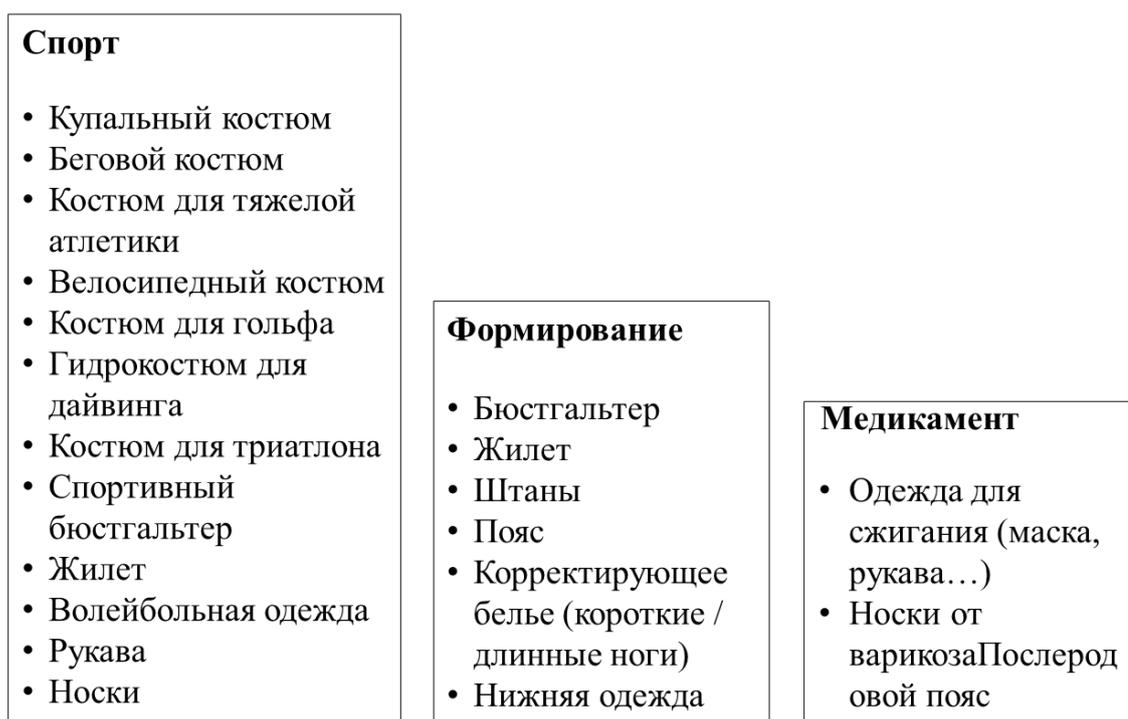


Рисунок 1.10 –Области исследования и применения давления в женской одежде

В 1991 г. М. Дж. Берри [8] исследовал влияние компрессионной одежды при упражнениях на восстановление, частоту сердечных сокращений и образцы венозной крови; Ф. Браун, К. Гото и другие ученые обобщили

влияние компрессионной одежды на спортивные результаты, протестировав процесс упражнений или восстановления более, чем у десяти мужчин, носящих компрессионную одежду, и пришли к выводу, что компрессионная одежда оказывает положительное влияние на спортивные результаты [9,34,95,99]. К. Кеворк [75] исследовал взаимосвязь между давлением одежды и формой руки, кожей и мягкими тканями. М. Наэбе [255] и К. Монжи [101] изучили тепло-влажностные свойства материалов и установили связь между давлением и толщиной материалов.

В исследованиях Ю. Ян [157,164] проанализированы динамические характеристики женщин, носящих спортивное белье с различным давлением, с помощью теста давления в одежде и частоты сердечных сокращений; Д. Чен [167] проанализировал взаимосвязь между размером одежды и шейей человека по результатам давления одежды и кровотока. Ю. Ван [138, 139] установил диапазон комфорта для девяти частей человеческого тела с помощью подвижного компрессионного ремня.

1.3.2. Методы измерения давления

Технологии испытания давления под одеждой под и ее последующего применения имеют большое значение для оптимизации конструкции, повышения добавленной стоимости одежды и улучшения ее прилегания и здоровья.

Датчик давления Flexiforce очень подходит для системы проверки давления одежды, который состоит из двух слоев полиэфирной пленки, каждый слой которой покрыт серебряным проводником и специальными чувствительными к давлению полупроводниковыми материалами толщиной 0,127 мм, которые можно легко согнуть. Это беспроводная система ELF, которая помогает проводить исследования динамического давления в спортивной одежде.

В 2008 году Д. Ченг [11] разработал систему проверки давления под

одеждой Mju-c с помощью воздушной подушки, которая лучше подходит к мягкому телу. Недостатком этой системы тестирования является то, что она может выполнять только точечные измерения и ее нельзя применять для локального распределения давления.

В табл. 1.3 показано несколько распространенных в настоящее время приборов для измерения давления.

Таблица 1.3 – Средства для измерения давления [168]

Тип	Преимущество	Недостаток
Fluid (AMI-TECHNO U-tube)	<ul style="list-style-type: none"> – Дешево, удобно и интуитивно понятно – Высокие экологические требования 	<ul style="list-style-type: none"> – Легко допустить большие ошибки – Измерения в динамическом режиме не могут быть выполнены – Невозможно измерить на участках с большой кривизной
Resistance (Flexiforce)	<ul style="list-style-type: none"> – Высокая точность и стабильность – Динамическое испытание может быть выполнено в полевых условиях 	<ul style="list-style-type: none"> – Необходимо подключить систему записывания показаний – Трудно измерить давление на очень мягких участках и участках с малой кривизной
Barometric (AMI air-bag)	<ul style="list-style-type: none"> – Простота в эксплуатации – Его можно фиксировать на многих частях человеческого тела 	<ul style="list-style-type: none"> – Сложно измерить динамическое давление – Небольшая площадь измерения

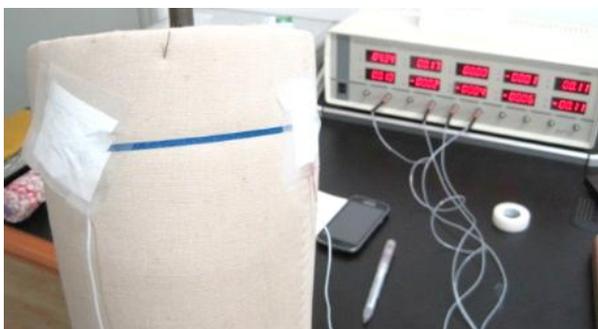


Рисунок 1.11 – Тестер контактного измерения давления воздушной подушкой AMI-3037 и система измерения давления (лаборатория Университета Дунхуа, Шанхай, Китай)

Воздушная подушка серии АМІ (рис. 1.11) - контактный датчик и система измерения давления, разработанная компанией АМІ в Японии. Тонкая воздушная подушка (стандартный размер 20 мм) крепится к тестируемому участку, а в результате сжатия воздуха, поступающего в индикатор давления через тонкую трубку 0,1 мм, выходной сигнал будет отражать разницу давления между слоями. Он может работать под давлением 0,1 кПа или даже меньше, и он широко используется в научно-исследовательских институтах текстиля и одежды, спортивных колледжах, медицинских университетах и других научно-исследовательских учреждениях, предоставляя больше научных инструментов для исследования эргономики, гигиены одежды и т. д.

Х. Юань и др. [161] использовал инструмент для измерения контактного давления одежды типа АМІ-3037S-5 для изучения компрессионного комфорта узких брюк с помощью субъективных и объективных методов оценки. В объективном тесте в качестве объекта исследования выбрана левая часть человеческого тела, а в ходе предварительного теста определены пять точек, которые имеют наибольшее влияние на контактное давление колготок.

1.3.3. Распределение давления одежды на тело человека

На распределение давления в одежде влияют два основных фактора: тело человека и одежда. Поскольку человеческое тело представляет собой сложную систему, распределение давления на человеческое тело тесно связано со следующими факторами [85]:

- Форма и кривизна человеческого тела, модуль упругости кожи и мягких тканей.
- Компрессионная способность и модуль упругости разных частей тела, форма и размер скелета, толщина мышц.
- Положение тела и деформация кожных покровов.

- Разная чувствительность нервных окончаний на различных частях тела.
- Гендерные различия в распределении мышц и мягких тканей.

В начале 1970 г. М.Дж. Дентон [25] пришел к выводу, что чем больше кривизна поверхности тела, тем больше давление.

При ношении спортивного защитного снаряжения субъективное ощущение давления у людей непостоянно из-за различных состояний движения. Как правило, ощущение давления одежды становится слабым и комфортное состояние постепенно увеличивается со временем во время движения, что называют феноменом адаптации к давлению. В соответствии с динамическими функциональными требованиями распределение давления на поверхности тела может различаться. В качестве примера возьмем купальник. Спортивные плавательные костюмы Adidas, соответствующие строению тела спортсмена, обеспечивают градиент давления [87]. З. Сяо, Сюй Дайфани др. [153, 166] изучили и подтвердили испытание на статическое давление женского цельного купальника и обнаружили, что в статическом вертикальном состоянии распределение давления в различных частях и диапазон комфортного давления сверху вниз постепенно уменьшалась.

1.3.4. Давление под одеждой

При систематическом изучении комфорта и давления при ношении одежды их следует разделять, и следует проверять влияние каждой требуемой функции для определения разумного давления. Одежда с умеренным давлением может защитить человеческое тело и улучшить спортивную эргономику [151]. Слишком высокое давление может нанести прямой вред здоровью человека, например, нарушить нормальный ход дыхательной системы; если давление слишком низкое, не удастся достичь эффекта компрессии [26]. Каждая часть человеческого тела имеет свой комфортный диапазон давления и максимальный предел давления, поэтому величина давления одежды напрямую влияет на спортивные функции и комфорт

ношения спортивного защитного снаряжения. На комфорт влияют, как уже сказано выше, многие факторы, такие как кривизна поверхности тела [169], процентное содержание жира в организме [137], различные позы [109], разная внешняя среда [150], растяжимость и особенности материалов, конструктивные прибавки, нервная чувствительность. Следовательно, необходимы дальнейшие всесторонние измерения человеческого тела для создания расширенной базы данных для различных человеческих тел. М.Дж. Дентон и Дж. Прагг [119] пришли к выводу, что при нормальных обстоятельствах давление одежды, которое заставляет тело чувствовать себя комфортно, составляет от 1,96 до 3,92 кПа. Когда давление свыше 5,88...9,80 кПа, кровоток затрудняется. Давление свыше 9,80 кПа человеческое тело не выдерживает. З. Вэньбин [165] в «Науке об эргономике одежды» перечисляет некоторые стили одежды с диапазоном комфортного давления: для купального костюма составляет 0,98...1,96 кПа; тесная одежда - менее 1,96 кПа; корсет на 2,94...4,90 кПа. Х. Макабе [97] изучил комфортность брюк и обнаружил, что давление в области поясницы, бедра и передней части бедер легко вызывают дискомфорт. З. Го [38] обнаружил, что давление корректирующего костюма влияет на частоту сердечных сокращений и частоту дыхания человека, а когда давление составляет 4,0...6,6 кПа снижается внутренняя температура, пульс пальцев и частота дыхания.

Кроме того, механизм нервной реакции на давление человеческого тела полностью не раскрыт. Поэтому необходимо установить характер распределения чувствительности к давлению. Части женского тела выдерживают давление одежды от сильного до слабого в следующем порядке: плечи, грудь, спина, бок, живот, бедра [90, 156, 170]. Давление в удобной одежде составляет около 0,49...2,60 кПа при обычных движениях [97, 70, 154]. При резких движениях комфортное давление каждой части меняется и становится выше, чем в обычном состоянии: при движениях оно обычно выше обычного на 1,96 кПа [133, 77].

1.4. Антропометрические измерения

1.4.1. Современные системы размерных признаков

Хорошо подогнанная одежда должна соответствовать морфологии и вызывать субъективное ощущение комфорта. Крой играет важную роль в дизайне одежды, что существенно влияет на внешний вид и комфорт [80].

Характеристики для описания морфологию туловища меняются. Многие профессионалы предлагают множество идей и подходов к получению систем размеров фигур, основанных на различных ситуациях, чтобы повысить удовлетворенность пользователей. В настоящее время разрабатываемые системы размерных признаков включают традиционные или новые измерения, в том числе полученные с помощью 3D-сканеров тела. Это направление позволяет улучшить маркировку одежды, подходящей для разных групп покупателей.

С.П. Эшдаун [19] провела сравнение размерных систем одежды и сравнила общие измерения тела и плечевого пояса пожилых женщин из Кореи и США, чтобы предоставить базовые данные для детального дизайна одежды. Она провела исследование структуры трех многомерных оптимизированных размерных систем, созданных на основе антропометрических данных стандарта ASTM D5585-94 [3]. В. Сибильская и др. [129] использовали типологию Ванке при измерении костей и математических расчетах, чтобы определить типы фигур молодых женщин как силуэты «V (Y), A, H, I». М.Л. Скобы и Д. Делюри [126] проанализировали размеры тела репрезентативного числа женщин в США (более 10 000) и предложил систему калибровки женской одежды. Хреенжаак Р.и др. [42] разработали систему маркировки одежды для девочек 13...20 лет в Хорватии на основе антропометрических данных с использованием метода интеллектуального анализа данных. Девочки были разделены на три группы как возможные представители основных типов телосложения туловища с большим количеством размерных признаков туловища в зависимости от

роста. Эта область исследований по разработке новой системы размерных признаков ориентирована на результаты 3D-сканирования.

Согласно последней переписи [49], общая численность населения Китая составляет около 1,3 миллиарда человек, что составляет почти 18% от общей численности населения мира. Соответственно, оригинальные китайские размерные системы также нуждаются в дополнительных теоретических и практических исследованиях, чтобы устранить некоторые существующие проблемы, связанные с подгонкой одежды и вызванные акселерацией, ожирением, фитнесом, изменением образа жизни и другими причинами.

Система размеров фигур тесно связана со стандартами размеров одежды. В разных странах используют несколько подходов к классификации тел по основным измерениям, таким как рост H, обхват груди BG, обхват талии WG, обхват бедер HG. Японский стандарт классификации женщин [73] делит все тела на четыре категории «Y, A, AB, B» в соответствии с разницей между HG и BG. Рост разделен на четыре категории от 142 до 166 см с шагом 8 см. Существует стандартный тип A со стабильным BG для каждого роста. Разница между HG и BG является основанием для классификации типов телосложения с шагом 4 см, см: Y (-3...-8), A (-3...13), AB (1...16) и B (7...17). Китайская классификация женского тела [31] основана на разнице между BG и WG для одного роста, и все тела делят на четыре категории, такие как Y (24...19), A (18...14), B (13...9) и C (8...4).

Метод классификации женских фигур в Германии [20] напоминает японские методы. По росту фигуры делят на три категории, см: 160, 168 и 176, затем три высоты соответствуют всем обхватам груди и их считают стандартным размером для умеренного обхвата бедер.

Упомянутые выше современные подходы к классификации женских фигур основаны на традиционных измерениях, которые не всегда учитывают все особенности построения чертежей. Использование BG, WG и HG имеет долгую историю для построения чертежей[33]. Но в настоящее время полные

обхваты можно легко делить на несколько частей с помощью программного обеспечения для сканирования. Например, Дж. Су и др. [128] проанализировали обхваты шеи, разделив их на части - переднюю и заднюю - и измерив значение между антропометрическими ориентирами. На наш взгляд, именно так можно было бы более точно охарактеризовать форму женских фигур для проектирования гидрокостюмов.

Традиционно все прототипы чертежей БК создают с помощью набора инструкций по построению и формул на основе ключевых измерений. В японском прототипе Bunkatorc разделен очень приблизительно на две части - переднюю и заднюю [152]. Китайский метод изготовления чертежей заимствован из Японии и основан на аналогичных расчетах (1.1)

$$(BG/2 + E_{BG}) / 2 = W_{BGF} = W_{BGB}, \quad (1.1)$$

где BG – обхват груди; E_{BG} – конструктивная прибавка к BG в зависимости от стиля одежды; W_{BGF} – ширина переда на уровне груди; W_{BGB} – ширина спинки на уровне груди.

Традиционные методы, основанные на полных обхватах (BG, WG и HG) имеют явные ограничения в ближайшее время, которое требует индивидуализированных прототипов чертежей. Традиционные измерения часто приводят к несоответствию, особенно для женских фигур с нетипичными морфологическими особенностями. Традиционные методы конструирования могут просто удовлетворить потребность в посадке для стандартного торса и не могут удовлетворить потребности в посадке для всех вариантов индивидуальных торсов. Равенство ширин переда и спинки не отражает реальной морфологии торса, потому что у некоторых фигур большая грудь и узкая спина или маленькая грудь и широкая спина. Иногда разница между двумя частями достигает 4 см и более [112]. Следовательно, построение чертежей японскими или китайскими методами не может гарантировать хорошую посадку для таких фигур, особенно в условиях

нахождения под водой в горизонтальном положении.

Для женского торса можно разработать набор новых размерных признаков, касающихся груди, талии и обхватов бедер. Новые измерения позволят четче дифференцировать разницу в мягких тканях пользователя, развитии мышц и других морфологических характеристиках на разных антропометрических уровнях и учитывать в элементах чертежей (конфигурация линий, параметры кривой и т. д.).

1.4.2. Влияние динамических поз на изменение размерных признаков

Посмотрев видео о дайвинге и примерив гидрокостюмы, имеющиеся на рынке, а также проанализировав большое количество движений при нырянии, обнаруженных в ходе опроса, можно сделать вывод, что основной позой дайверов под водой является горизонтальное положение на животе лицом вниз. Поэтому для женских гидрокостюмов необходимо изучить изменение верхней части туловища и верхних конечностей [7, 29]. Кроме того, репрезентативные позы для ныряния следует учитывать при испытании на комфорт, давление, в подводных экспериментах, а также при анализе чертежей для совершенствования гидрокостюма.

Для гидрокостюмов или компрессионных костюмов деформация фигур больше отражается в обхватах тел. Кроме того, дайверы работают в разных позах в большом диапазоне гидравлического давления [148], мягкие ткани будут сдавлены, и поэтому следует учитывать величину сжатия. Измерение изменения тела в динамических положениях - сложный вопрос, который нельзя рассматривать только с точки зрения основных антропометрических измерений, но также с точки зрения конкретных параметров морфологии тела [113]. Но большинство исследователей не рассматривают обмеры тела в конкретных динамических условиях [104], которые меняются под влиянием положения лежа на животе и в подводной среде. Необходимо полностью изучить и проанализировать движения человеческого тела.

Х. Гао [30] измерил более двухсот молодых женщин в возрасте 18-35 лет с помощью измерительного прибора Мартина и оборудования для трехмерного сканирования человеческого тела и выбрал 10 характерных движений йоги для изучения деформации кожи. Основываясь на правилах деформации кожи человека и свойствах материала одежды, было получено два вида оптимально подходящих моделей брюк для йоги путем разделения и растяжения частей брюк, соответствующих наибольшему растяжению человеческого тела. Т.А. Шиман и др. [30] провел исследование конструкции модели со специальной позой для плавания. И.А. Сеницкий и др. [171] произвели локальное моделирование и модификацию мягких тканей женских фигур на основе компрессионной деформации в статическом состоянии; К. Лоэрчер [94] предложил метод измерения изменения размеров фигур в 10 позах (приседание, шаг, наклон, поднятие рук и т. д.).

Как показано на рисунке 1.12, М.М. Наглич и др. использовал 3D-сканер Vitus Smart для измерения динамических поз мужчин и женщин в статическом и пяти динамических положениях.

Необходимо тщательно проанализировать изменение толщины мягких тканей (жира) женского тела при различных динамических позах. М. Эрнст [28] исследовал компрессионную деформацию мягких тканей в сагиттальной плоскости женской 3D-модели с большим содержанием жира. Поскольку сильно меняется размер груди у женщин. К. Э. Колтман и др. [21] измерил изменение объема женской груди в положении стоя с поднятыми руками и лежа на животе. Например, Ю. Чжан [136] выбрал шесть типичных поз для игры в гольф, измерил тридцать восемь частей человеческого тела и проанализировал взаимосвязь между удлинением материала, скоростью деформации кожи тела и прибавками. G.E. Из и др. [131] сканировал позу во время плавания, чтобы сравнить результаты примерки.

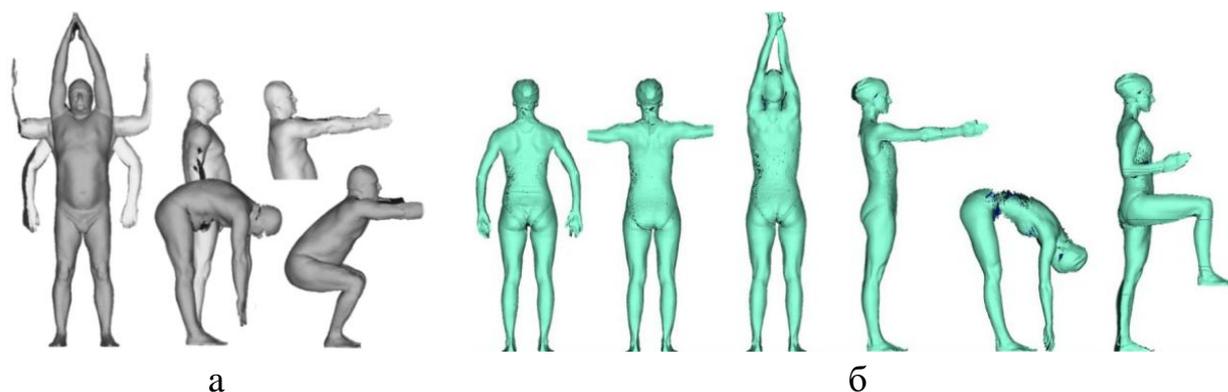


Рисунок 1.12– Сканированные динамические позы: а – мужские [104];
б – женские [105]

Таким образом, необходимо изучить диапазон деформации мягких тканей различных частей тела на основе базовых поз для ныряния в условиях гидравлического давления, чтобы получить изменение размеров тела в статическом и динамическом положениях.

1.5. Построение чертежа современного гидрокостюма

В настоящее время немного исследований посвящено дизайну и оценке комфорта длинных гидрокостюмов. Лишь несколько ученых из Южной Кореи, Японии и США проводят исследования, связанные с дизайном гидрокостюмов, то обычно они посвящены одному аспекту (чертежу или материалу, или моделированию и т. д.). Конструкция женского гидрокостюма основана на применении метода 3D→2D, который включает построение модели одежды путем рисования и создания линий рисунка непосредственно на поверхности цифрового двойника тела и разделения дискретных 3D поверхностей и их преобразования в 2D развертки [116].

Х.Дж. Хур [71, 105] провел исследование условий ношения и размерной маркировки гидрокостюмов разных марок. М.М. Наглич и др. изучили развертки гидрокостюма, полученные непосредственно с женского тела (рис.1.13а); Н. Чой [16, 17, 18] провел исследование о чертежах, производстве и удовлетворенности потребителей мужских гидрокостюмами в возрасте от

30 лет, а также использовал стандартный подход для получения разверток в позе стоя (рис. 1.13 б).

Благодаря проведенным исследованиям и анализу, в настоящее время методы создания чертежей гидрокостюмов в основном основаны на 2D и 3D технологиях и их двух вариантах: первый - компьютерное создание 2D чертежа с несколькими базовыми данными (бюст, талия, бедра, рост), второй - чертежи гидрокостюма проектируют для индивидуальных параметрических моделей фигур 3D-2D, а затем вносят коррективы для получения окончательного чертежа. Второй вариант основан на индивидуальных экспериментах.

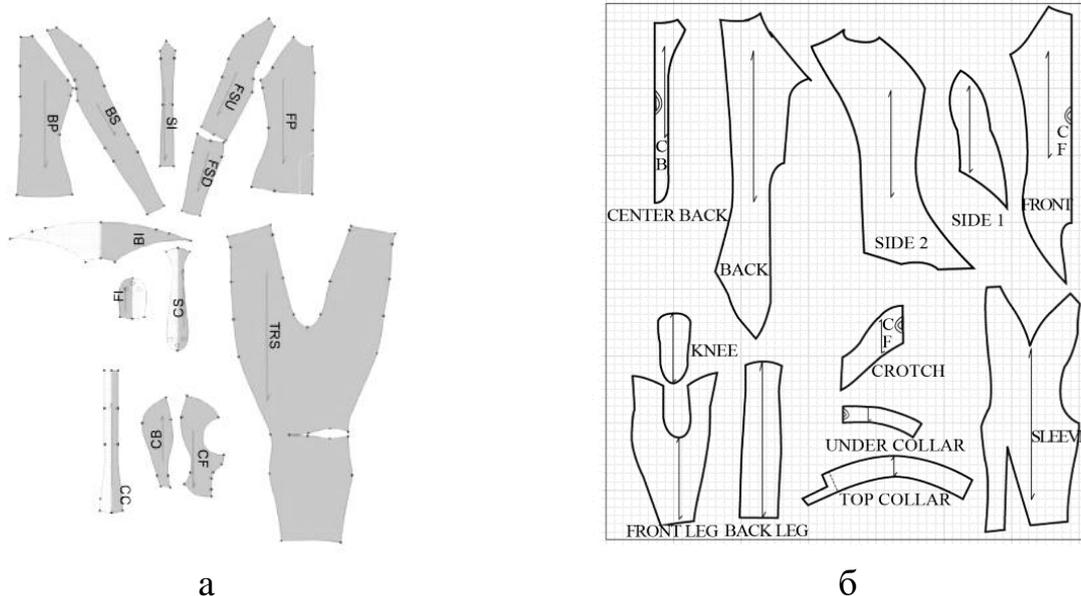


Рисунок 1.13 – Развертки гидрокостюма: а – рисунок, полученный из 3D в 2D[105]; б –схемы деталей для корейских мужчин стандартного телосложения [16]

Эти два варианта можно найти в существующих исследованиях. Однако на китайских фабриках по производству гидрокостюмов для изготовления чертежей гидрокостюмов в основном используется метод моделирования существующих базовых основ - полагаются только на набор готовых выкроек, постоянно модифицируют их в соответствии с различными человеческими телами или вносят небольшие изменения в конструкции и, наконец, получают новую выкройку, основанную на опыте.

Существующий процесс необходимо дополнительно усилить:

1. Существующие шаблоны дизайна имеют много линий членения, и наличие и расположение этих линий не являются строго аргументированными.

2. Чертеж не основан на анализе большого объема информации о морфологии человеческого тела.

3. Мало внимания уделено эластичности и толщине материалов при построении чертежей, их физиологическому воздействию на человеческое тело, обоснованию влияния конструктивных прибавок на комфорт, давление и соответствию человеческому телу;

4. Нет алгоритма использования показателей в чертеже.

Чтобы изучить факторы, которые необходимо улучшить в конструкции гидрокостюма, нами было проведено исследование: структуры более чем 300 гидрокостюмов разных производителей (рис. 1.14). Основное внимание уделяли анализу структурных линий и целесообразности дизайна. Линии внутренних швов обычно расположены в области плечевого пояса, на рукаве, внешней стороне ноги, в области колена. Застежка-молния расположена сзади.

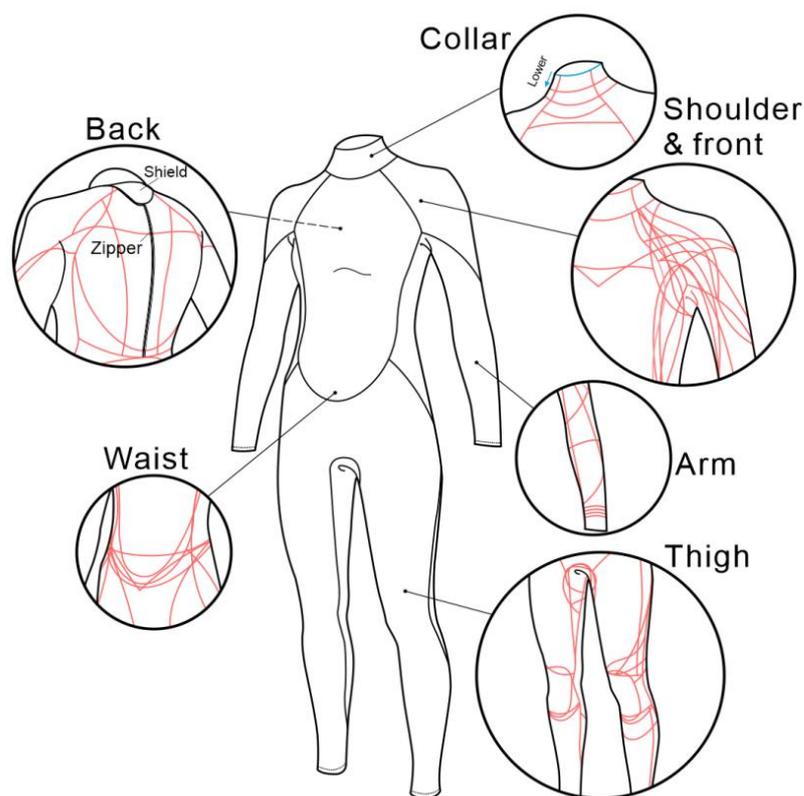


Рисунок 1.14– Варианты линий членения гидрокостюма

Мы провели опрос 1000 женщин, имеющих опыт дайвинга в 3 китайских дайвинг-клубах (сетевая группа), 57,5% отзывов о качестве посадки гидрокостюмов, купленных в магазине или взятых в клубах, были негативными. Рис. 1.15 иллюстрируют рейтинг областей, вызывающих неудобства под водой: плечо часть (25,5%), талия (15,7%), верхняя руки (15,4%). Опрошенные люди пожелали улучшить дизайн гидрокостюма или подогнать его в соответствии с морфологией своего тела.



Процент ощущения от ношения

Процент несоответствующих частей под водой

Рисунок 1.15 – Рейтинг проблемных участков при плавании под водой

Отсутствие теоретических знаний приводит к множеству практических проблем при конструировании гидрокостюмов. Некоторые покупатели не могут найти подходящий гидрокостюм по размеру и испытывают дискомфорт во время погружений. Проблемы, связанные с отсутствием базы данных фигур, сортировкой лекал в процессе производства и учетом свойств материалов существуют на многих заводах по производству гидрокостюмов.

1.6. Применение 3D-технологий в дизайне одежды

1.6.1. Применение сканированных фигур и аватара

3D-сканер тела необходим для проектирования и оценки гидрокостюмов [35]. Сканеры тела применяют в некоторых исследованиях для получения точных измерений, создания сканатаров, получения поперечных сечений и анализа ключевых частей, таких как промежность и бюст [22]. Технологию 3D-сканирования также можно использовать для динамической антропометрии, что особенно важно при разработке одежды специального назначения с высокими требованиями к функциональности и посадке [32].

Например, большинство оригинальных моделей человека автоматически создаются с помощью статического 3D-сканирования [135], а затем обрабатываются и оптимизируются сложными методами расчета [100,132]. Некоторые исследователи изучали деформацию кожи нижней части человека, анализируя некоторые плавательные и динамические позы с помощью сканированного человека или аватара, чтобы разработать компрессионную спортивную одежду (рис. 1.16) [98, 107, 123, 130]

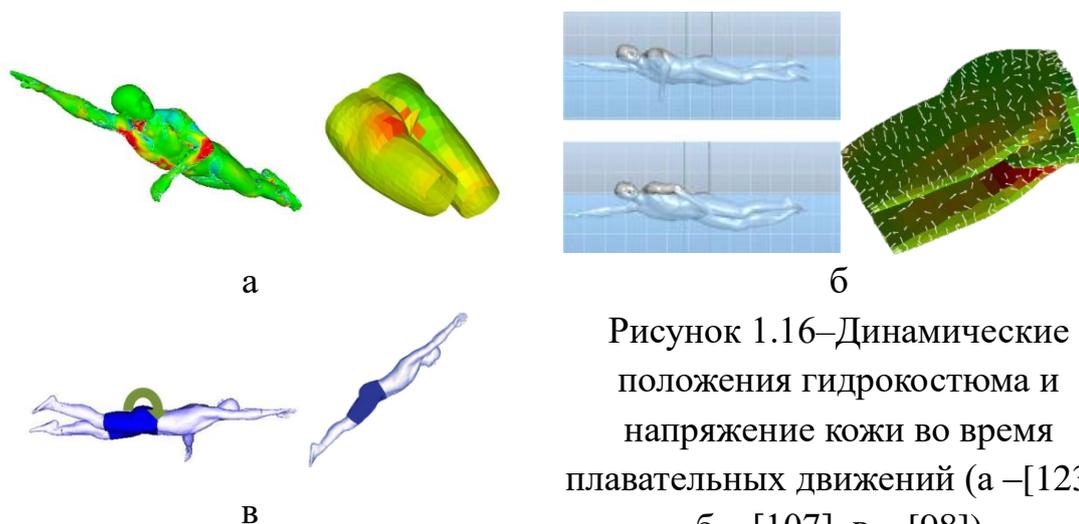


Рисунок 1.16–Динамические положения гидрокостюма и напряжение кожи во время плавательных движений (а – [123], б – [107], в – [98])

В областях виртуального дизайна в настоящее время не только анализируют исходные отсканированные фигуры человека, но их деформированные и регенерированные аналоги [27]. Некоторые ученые [15, 23, 83] установили корреляцию между ними и предложили метод описания морфологических характеристик человеческого тела после анализа измененных. Х. Хан [40] использовал 3D-сканирующую модель для извлечения сагиттальной плоскости и контура поперечного сечения человеческого тела, а Т. Мах [96] разработал 3D-конструкцию человеческого тела на основе характерных точек тела. Ч. Чен и др. [13] предложил модифицируемый метод деформации цифровой модели человека для создания компрессионного белья с помощью 3D-сканера тела. М. Авэданей [4] смоделировал динамические позы ныряльщика. З. Ван [140] представил метод получения трехмерных данных о человеке на основе трехмерного сканирования и бесконтактной оценки посадки одежды на основе особенностей распределения воздушного пространства между одеждой и телом человека. Дж. Чжан и др. [163] использовал трехмерные изображения, горизонтальные сечения, полученные после сканирования тел и курток, для создания модели верхней одежды из трехмерных и двумерных выкроек с учетом допустимых отклонений. Ю. Лю [93] собрала данные о 275 испытуемых с помощью 3D-сканера, а 108 размеров были извлечены с

помощью программного обеспечения для обратного проектирования Polyworks.

Поскольку большинство испытуемых носят нижнее белье во время сканирования, модель человека, построенная с помощью сканера или других методов, неточна, что приводит к тому, что модель не может полностью совпадать с характеристиками исходной структуры человеческого тела. Морфология поверхности и динамические / статические позы модели человека напрямую влияют на виртуальные характеристики компрессионной одежды [162]. Кроме того, исследование параметризованной регулировки виртуального двойника фигуры, основанной на индивидуальных измерениях, также выявило некоторые недостатки в регулировке, особенно в осанке, наклоне позвоночника и вращении плеч, которые особенно важны для конкретных случаев применения компрессионной одежды [115]. Согласно личным измерениям и анализу структуры одежды, лучше всего использовать отсканированную модель человеческого тела, чтобы получить точную форму тела. Компьютерный 3D-прототип можно будет добавить в процессе моделирования [114]. Подобные методы использовались во многих других исследованиях [121, 127].

1.6.2. 3D дизайн компрессионной одежды

В настоящее время существует множество программ, которые можно использовать в виртуальном дизайне трехмерной одежды, основными из которых являются 3ds max, Maya, CLO, OptiTex, Vidya, MarvelousDesigner и так далее. Программное обеспечение для проектирования 2D-моделей более разнообразно, например Auto CAD, CLO и OITEEX, Assyst, Lectra, Gerber AccuMark, Richpeace, BUYI ET, Modasoft и т. д.

В последние годы международное применение технологии моделирования в области одежды в основном касается неэластичной свободной одежды, которая сосредоточена на единственном

исследовательском направлении, простой конструкции и демонстрации характеристик виртуальной примерки с помощью программного обеспечения; исследования виртуальной одежды в основном выполнены на неэластичных тканях [12]. Многие симуляционные исследования не обращают внимания на характеристики свойств материала одежды [117]. Аналогичные исследования выполнены для обтягивающей одежды, женских компрессионных бюстгалтеров, женских узких брюк и т. д. [1, 92, 91].

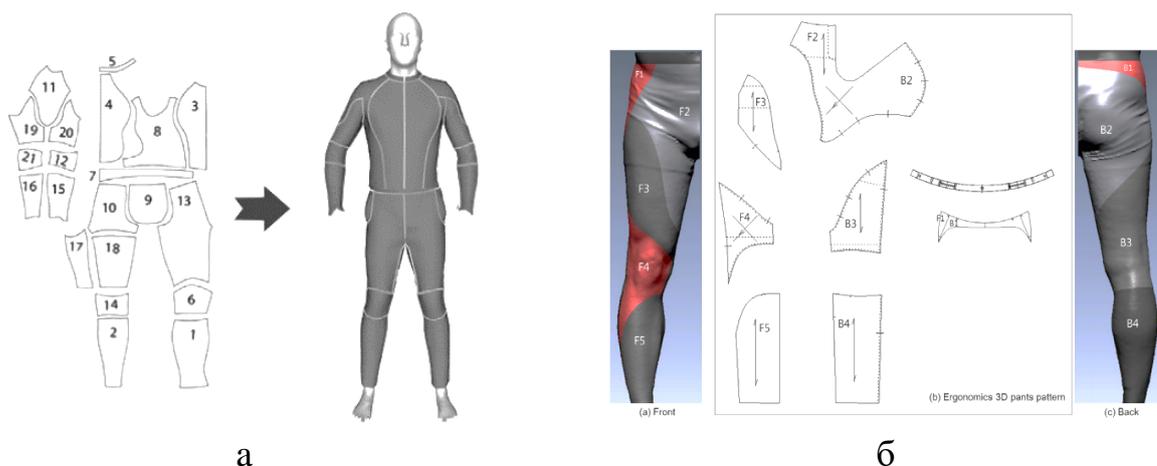


Рисунок 1.17– 3D-дизайн костюма мотоциклиста(а)[72] и компрессионных брюк (б) [81]

М. Ли [86] использовал язык Visual C++ и графический интерфейс OpenGL для интерактивного дизайн малообъемного прототипа и базового макета чашки бюстгалтера, исследовал алгоритм и технологию реализации цифрового дизайна трехмерного моделирования груди. М. Ху и др. [68] был создали подходящий прототип женского торса, проанализированы морфологические характеристики между талией и грудью, способы плоского развертывания трехмерной модели. М. Авэданей [4] выполнил простую виртуальную 3D-примерку гидрокостюма с помощью программы 3dmax. Дизайн одежды мотоциклиста Дж. Каника [72] выполнил прямо на аватаре (рисунок 1.17 а). Х.Дж. Ли [81, 82] разработал компрессионные брюки с помощью программы Yuka CAD и программы Rapid form XOR с учетом морфологических особенностей ног (рисунок 1.17 б).

Ю.Л. Лин [89] предложил инновационный метод оценки пригодности одежды для виртуальной примерки с использованием трехмерной цифровой модели человека и информации о подгонке одежды, полученной в этом исследовании, которые вместе могут быть применены к получению виртуальной одежды. К.В. Юнг [158] изучил виртуальный дизайн и оценку женского сжатого бюстгалтера и проанализировал взаимосвязь между его деформацией, давлением и деформацией женских грудных желез.

На рис. 1.18 показаны фрагменты некоторых исследований трехмерной конструкции гидрокостюмов. Для 3D-моделирования гидрокостюма. М.М. Наглик [105, 106] сканировал тела в шести позах, таких как поднятие рук и приседание, и разработал виртуальный гидрокостюм с помощью программного обеспечения Optitex (рис. 1.18 а). Т.Н. Стаал [125] использовал программное обеспечение CLO для проверки соответствия и деформации материала мужского гидрокостюма, но не предложил схемы его оптимизации и оценки комфорта для выкройки (рис. 1.18 б).

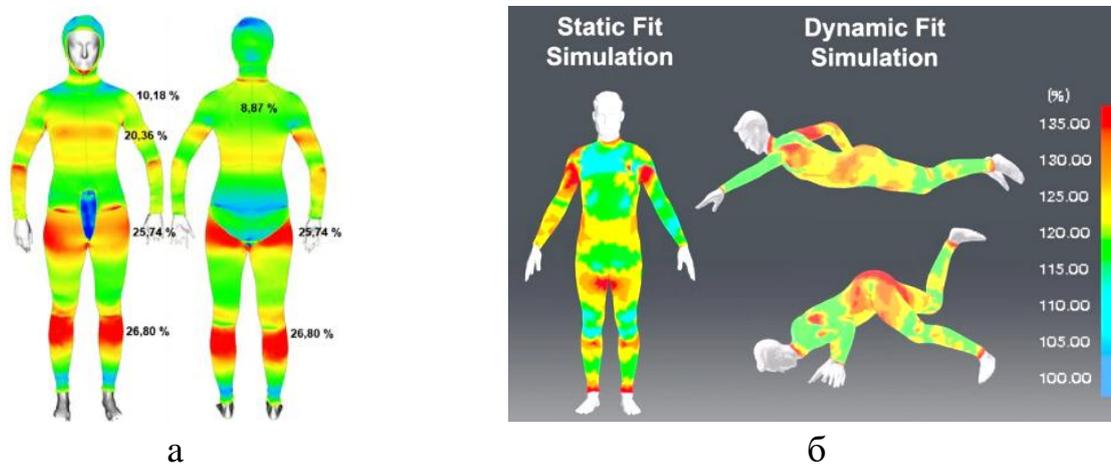


Рисунок 1.18– Тестирование виртуального гидрокостюма: а – цифровая деформация [105]; б –цветовая деформации [125]

Цель и направления диссертационного исследования

В настоящее время существуют научные и практические проблемы с

проектированием гидрокостюмов, в основном это выражается в отсутствии теоретических знаний исследований. Многие исследователи считают, что характеристики материала являются наиболее важным фактором, влияющим на комфорт ношения гидрокостюмов. Однако разумный дизайн одежды может значительно улучшить комфорт и эстетику ношения, а конструктивные параметры гидрокостюма должны быть полностью адаптированы к размерам и форме тела дайвера.

В этом исследовании основное внимание будет уделено одному типу гидрокостюма: длинный вариант, погружение на 5 м, для активного отдыха. Цель этого исследования - разработать научный подход к дизайну гидрокостюмов на основе данных сканирования тела, свойств текстильного материала и чертежей конструкций. Гидрокостюм должен поддерживать хорошую физическую форму во время динамических погружений, обеспечивать комфортную деформацию мягких тканей под воздействием типичных поз для ныряния и гидравлического давления.

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

1. Изучить современный дизайн женского гидрокостюма, обобщить всю имеющуюся информацию, варианты конструктивных решений, антропометрическую базу данных, провести художественные и конструктивные оценки и анализ.

2. Разработать новую группировку женских торсов, которая отражала бы характеристики и морфологию тела через распределение обхватов между передней и задней частями и использование результатов для построения чертежей гидрокостюма.

3. Изучить диапазоны деформации мягких тканей различных частей тела с учетом базовых динамических поз для ныряния и гидравлического давления воды.

4. Изучить взаимосвязь между удлинением материала, сжатием мягких тканей и изменением размеров тела, чтобы определить минимальные конструктивные прибавки для 8 типов телосложения.

5. Разработать алгоритм проектирования женского гидрокостюма в виртуальной среде и проверить рациональность дизайна с точки зрения виртуальной оценки давления.

6. Изготовить гидрокостюмы на швейной фабрике на основе виртуальных результатов, чтобы проверить правильность нового процесса проектирования женских гидрокостюмов с практической точки зрения и установить критерии оценки.

7. Провести апробацию разработанных рекомендаций путем изготовления и испытания гидрокостюмов.

Глава 2. АНТРОПОМЕТРИЧЕСКАЯ БАЗА ДАННЫХ

Результаты, полученные в этой главе, опубликованы в 4 работах [144-147].

2.1. Группирование торсов женских фигур

2.1.1. Соотношение переднего и заднего полуобхватов фигуры

Группирование торсов фигур основано на существующих и новых размерных признаках фигуры. Для измерения использовали 3Дбодисканер VITUS Smart XXL (Human Solutions, Германия, стандарт DIN EN ISO 20685) и программу считывания и визуализации сканов фигуры (сканатаров) Anthroscan 2014.

96 китайских волонтеров из Уханьского текстильного университета (Китай) принимали участие в этом тесте. Их возраст был от 18 до 27, рост от 147,3 до 173,6 см, а обхват груди третий ВG - от 73,0 до 105,1 см. Женщины данного возраста были отобраны, потому что возрастное обследование дайвинг-клубов показало, что участие молодежи с высоким уровнем потребления в занятиях дайвингом быстро увеличивается. В таблице 2.1 показано распределение участников эксперимента по типам телосложения (нормальное телосложение), заданным китайским стандартом [31, 52].

Таблица 2.1 – Типы фигур, участвовавших в эксперименте

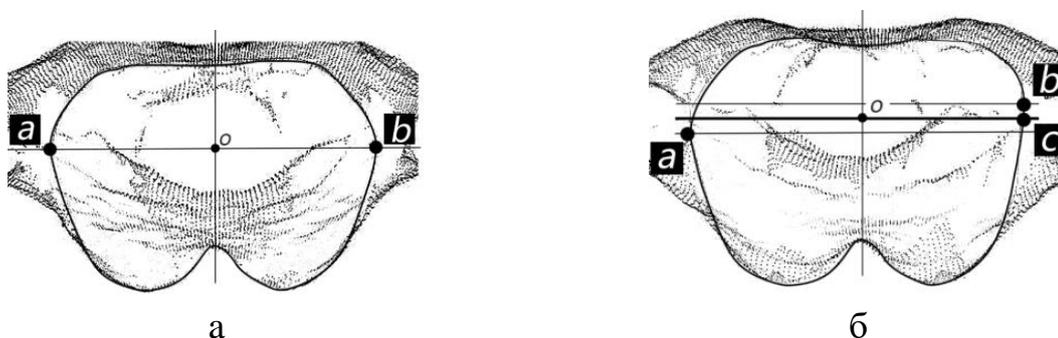
Тип торса	Разница δ между ВG и WG, см	Удельный вес, %
Y	$19 \leq \delta \leq 24$	21,9
A	$14 \leq \delta < 19$	50,0
B	$9 \leq \delta < 14$	20,8
C	$4 \leq \delta < 9$	7,3

2.1.2. Поперечные сечения женского торса

Программное обеспечение Anthroscan использовали для чтения, визуализации, реконструкции и измерения облака данных отсканированных фигур тела. Девушки были одеты в светлое нижнее белье и во время сканирования сохраняли естественную позу стоя. Сечения сканов фигур на уровнях обхватов груди, талии и бедер BG, WG и HG были преобразованы в гладкие кривые BL, WL и HL.

Разбиение горизонтальных обхватов фигур на передний и задний полуобхваты задается вертикальными линиями, положение которых зависит от формы тела. Чтобы описать и количественно сформулировать взаимосвязь между длинами полуобхватов и формой тела, мы сгенерировали горизонтальные сечения основных обхватов. Для анализа формы всех обхватов, были разделены два сегмента - передний и задний: BG_F (передняя часть обхвата груди), BG_B (задняя часть обхвата груди), WG_F (передняя часть обхвата талии), WG_B (задняя часть обхвата талии), HG_F (передняя часть обхвата бедра) и HG_B (задняя часть обхвата бедра). Вышеупомянутые сегменты считали новыми размерными признаками торса фигуры.

Метод деления поперечного сечения BG на BG_F и BG_B показан на рис.2.1.



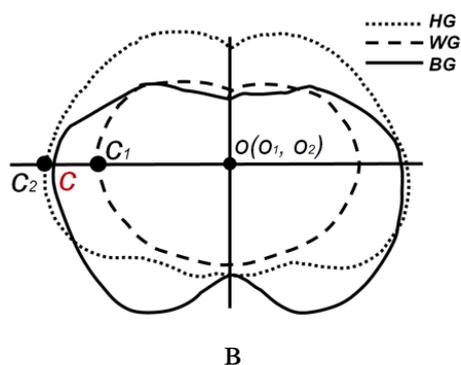


Рисунок 2.1 – Определение ориентиров «а» и «b» для разделения BG на BG_F и BG_B: а – сечения симметричного бюста; б – сечение несимметричного бюста; в – совмещение обхватов груди, талии и бедер с общей сагиттальной линией и средней точкой «о» (O₁ - точка на уровне талии, O₂ - точка на уровне бедер)

Положения точек «а», «b» определяли как наиболее выступающие с левой и правой сторон поперечного сечения. Сначала проводили вертикальную линию и перемещали ее так, чтобы она коснулась левой стороны сечения, так отмечали точку «а». Точку «b» находили таким же образом справа.

После нахождения точек *a* и *b* встречались две ситуации.

1) Обе точки *a* и *b* принадлежали одной горизонтальной линии, как показано на рис.2.1 а. В этом случае точки *a* и *b* соединяли горизонтальной линией через сечение груди. Среднюю точку отрезка *ab* (точку «о» пересечения со средней сагиттальной плоскостью) обозначали как центр поперечного сечения и использовали его точку для анализа поперечных сечений талии и бедер на следующих этапах.

2) Обе выступающие точки не находятся на одной горизонтальной линии, например, как показано на рис.2.1 б. Такая ситуация имела место, если левая и правая грудь женщины не были абсолютно одинаковыми или туловище имело асимметричное телосложение. Тогда проводили две горизонтальные линии через *a* и *b*, делили расстояние между ними пополам, и проводили новую (скорректированную) горизонтальную линию, затем отмечали на ней среднюю точку *o*.

В соответствии с серединой «о» находили аналогичные точки в виде проекции на расположенные ниже антропометрические уровни талии и бедер и делили их на две части. На рис.2.1 с показаны совмещенные поперечные

сечения: сначала совмещали три вертикальные центральные линии сечений обхватов груди, талии и бедер; затем совмещали три линии c , c_1 , c_2 . После этого измеряли длину передней и задней частей сечений BG , WG и HG .

2.1.3. Новая группировка фигур по форме торса

Чтобы исключить несоответствие женского гидрокостюма, была предложена новая группировка торсов. Анализируя BG_F , BG_B , WG_F , WG_B , HG_F , HG_B и их средние значения, установили, что различия между BG_F , BG_B самые большие. Соответственно, с их помощью можно точнее определить морфологию торса. По этой причине соотношение между BG_F и BG_B в было выбрано в качестве основы для группировки формы торса.

Число традиционных групп Y , A , B и C было увеличено в два раза, с четырех до восьми, за счет деления каждой группы на два подтипа: Y на $Y1$ и $Y2$, A на $A1$ и $A2$, B на $B1$ и $B2$, C на $C1$ и $C2$. В табл. 2.2 показаны средние значения передних и задних полуобхватов для каждого подтипа. Группа I включает четыре подтипа $Y1$, $A1$, $B1$, $C1$, когда передний полуобхват груди (BG_F) больше заднего (BG_B). Группа II включает четыре подтипа $Y2$, $A2$, $B2$, $C2$ с противоположной ситуацией

$$\delta = BG - WG, \quad (2.1)$$

$$\text{Группа I} = \{ Y1, A1, B1, C1 \}, \quad (2.2)$$

$$\text{Группа II} = \{ Y2, A2, B2, C2 \}, \quad (2.3)$$

где δ – основа для определения группы телосложения (см. табл.2.1); Группа I – фигуры, для которых $BG_F > BG_B$; Группа II – фигуры, для которых $BG_F < BG_B$.

Таблица 2.2 показывает удельный вес долей переднего и заднего сегментов обхватов каждого подтипа.

Таблица 2.2 – Средние значения переднего и заднегополуобхватовдля восьми подтипов фигур

Сегмент тела	Обхват сегментов подтипов фигур, см							
	Y1	Y2	A1	A2	B1	B2	C1	C2
BG _F	44,9	42,4	44,0	41,1	46,4	42,3	47,0	41,3
BG _B	41,5	46,0	40,2	43,6	39,9	45,2	37,9	42,8
WG _F	33,8	32,5	35,6	34,6	38,3	38,1	43,7	42,3
WG _B	32,3	32,7	32,2	33,3	36,1	37,5	39,8	39,5
HG _F	42,8	42,6	43,3	43,4	44,6	44,1	44,1	45,9
HG _B	43,8	47,6	48,3	48,2	50,4	49,6	48,4	48,7

Большие различия (BG_F - BG_B) характеризуют подтипы в группе I, которые имеют положительное различие и расположены от большого к маленькому - C1 > B1 > A1 > Y1; соотношение WG_F и WG_B почти одинаковы, и большая разница между HG_B минус HG_F - это подтипы группы I. На рис.2.2 показаны примеры подтипов A1, A2.

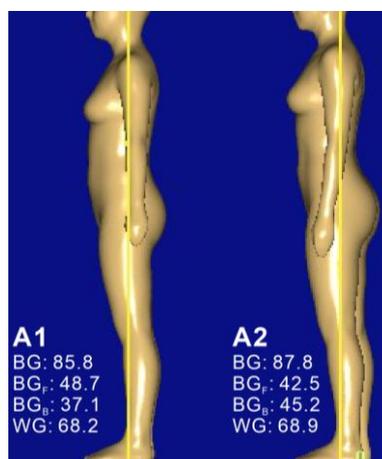


Рисунок 2.2 – Профиль стандартизированных подтипов торсов A1 и A2

2.1.4. Улучшенные манекены типовых фигур

Программное обеспечение CorelDraw использовали для прорисовки всех поперечных сечений и усреднения поперечных сечений методами математического анализа.

На рис. 2.3 показаны сагиттальные плоскости стандартных типов, а соответствующие подтипы (Y1 и Y2, A1 и A2, B1 и B2, C1 и C2) совмещены на линии обхвата талии WG. Путем сравнения можно увидеть, что BG_F группы I имеет значительно большее значение, значение HG_B также относительно большое. В группе I более выражены физиологические особенности женщин и различия в размерных признаках.

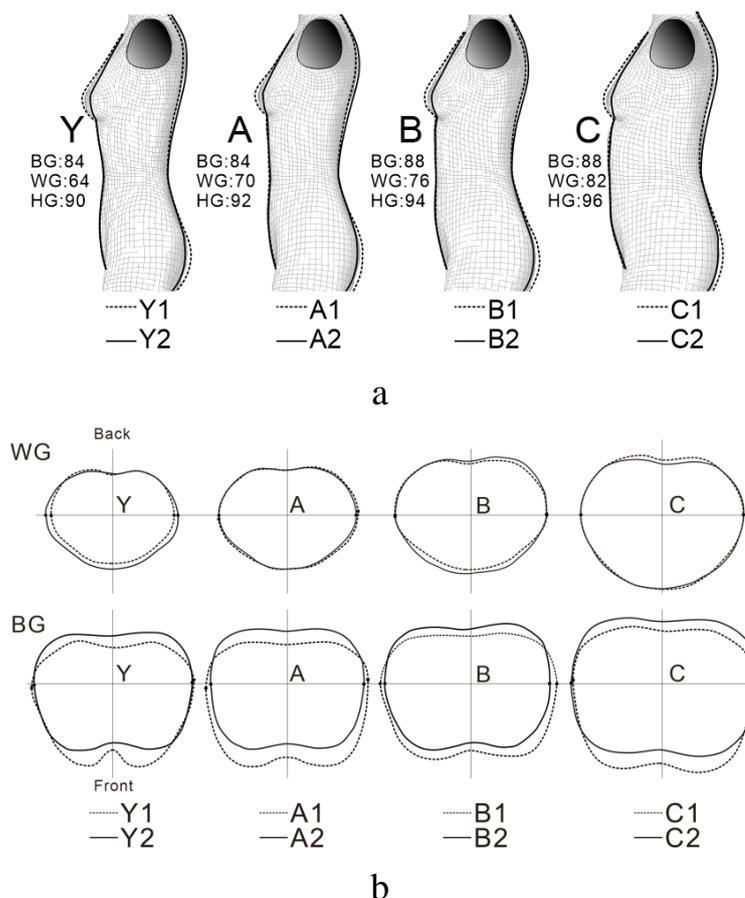


Рисунок 2.3– Стандартные торсы; а – профили стандартных торсов (Y, A, B, C) и подтипов; б – сечения на уровнях груди и талии

На основе полученных результатов, наибольшее количество фигур соответствует типу A (A1 – 37,5%, A2 – 12,5%), за которым следуют типы Y (Y1 – 10,4%, Y2 – 11,5%), B (B1 – 14,6%, B2 – 6,3%) и C (C1 – 24,2%, C2 – 3,0%).

В качестве примера на рис. 2.4 показан подтип B. Типовой манекен B был преобразован в первый ($BG_F > BG_B$) и второй ($BG_F < BG_B$) подтипы путем

увеличения или уменьшения полуобхватов груди, талии и бедер согласно полученным ранее усредненным формам сечений. На рис.2.4 показаны манекены В, В1 и В2, сделанные из пластика и трансформируемые поясом из трикотажного материала, который надевали на уровнях груди, талии и бедер.



B1

B2

B (традиционный)

Рисунок 2.4 – Манекены для типовой фигуры В и новых подтипов В1 и В2 торса

Результаты измерений приведены в Приложении А.

2.2. Изменение размерных признаков человеческого тела

2.2.1. Статические измерения тела

Чтобы изучить, как размеры тела меняются во время дайвинга, были проведены измерения тела в динамических позах ныряльщиков на полу и под водой. Все данные получены способами бесконтактного сканирования (на полу) и контактного ручного измерения (на полу и под водой). Все измерения соответствуют стандарту ISO 7250, 22 из которых были выполнены в Anthroscan 2014. Таким образом, общее количество измерений составило 42.

На рис.2.5 представлена схема измерений с указанием его идентификатора и положения фигуры.

В табл.2.3 показаны основные размерные признаки фигуры для создания виртуального двойника. Они также могут отражать динамические изменения, которые происходят в процессе репликации человеческого тела.

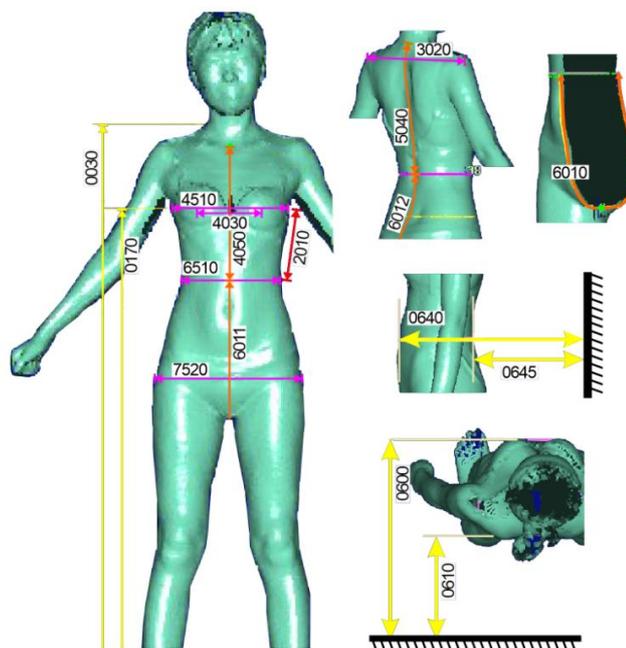


Рисунок 2.5– Схема измерения фигуры в программе Anthroscan

Чтобы доказать репрезентативность выборки из 96 женщин, были проанализированы размерные признаки Рост и Обхват груди. На рис.2.6 показаны графики Q-Q обхвата груди и роста. Тест Шапиро-Уилка (S-W) и диагностический инструмент графика Q-Q использовали для проверки принадлежности выборки к нормальному распределению данных.

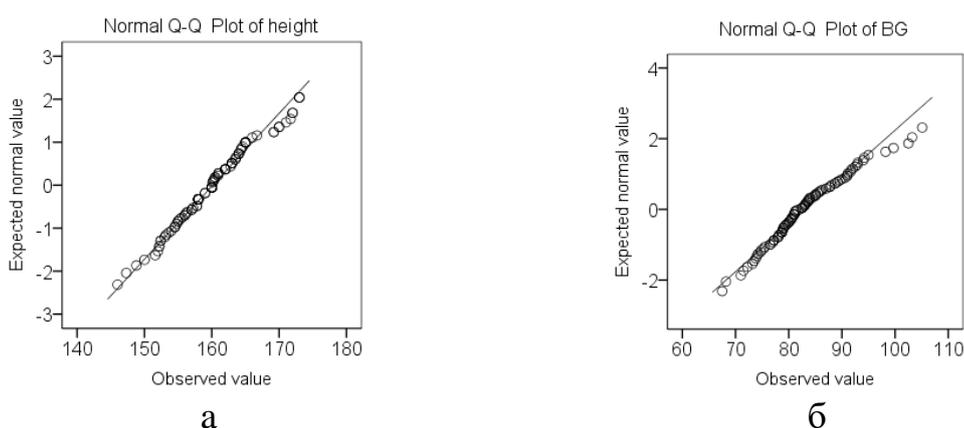


Рисунок 2.6– Распределение вероятностей графиков Q-Q: а –рост; б – обхват груди BG

Из рис.2.6 видно, что оба измерения подчиняются закону нормального

распределения. Коэффициент α Кронбаха в программе SPSS составил 0,974, т.е. все данные имеют высокую степень внутренней согласованности. Такие же выводы были сделаны и по другим измерениям. Следовательно 96 фигур достаточно для расчета статистических показателей. Диаграммы распределения приведены в Приложении А.

Таблица 2.3 –Размерные признаки фигуры, полученные с помощью 3D-сканера

Категория	№	ID	Интерпретация измерений	Символы	Средний, S.D., см
Расстояние	1	0510	Расстояние от точки основания шеи сзади 7CV (BNP) до вертикали	-	27,0 ± 1,8
	2	0515	Расстояние от верхнегрудной точки (FNP) до вертикали	-	36,6 ± 2,0
	3	0550	Расстояние от обхвата талии до вертикали*	-	44,2 ± 3,0
	4	0530	Расстояние от обхвата талии назад до вертикали	-	26,1 ± 2,9
	5	0600	Расстояние от обхвата груди 3 до вертикали	-	46,3 ± 3,1
	6	0610	Заднее расстояние от обхвата груди 3 до вертикали	-	23,1 ± 2,4
Ширина	7	3020	Расстояние между плечевыми точками	-	41,6 ± 4,1
	8	4030	Расстояние между выступающими точками груди (BP)	-	17,2 ± 1,8
	9	4010	Ширина обхвата груди спереди	-	34,6 ± 5,5
	10	5020	Ширина спины	-	33,1 ± 2,9
Обхват	11	4510	Обхват груди третий	BG	83,9 ± 4,7
	12	6510	Обхват талии	WG	69,5 ± 5,5

	13	7520	Обхват бедер без учета выступа живота	HG	$90,0 \pm 5,3$
	14	9510/ 9511	Обхват бедра	TG	$51,2 \pm 3,3$
Рост	15	0030	Высота до точки основания шеи сзади (7CV / BNP)	-	$136,9 \pm 8,0$
	16	0170	Высота линии обхвата груди	-	$115,7 \pm 7,8$
Длина	17	2010/ 2020	Длина верхней части туловища сбоку	SL	$15,4 \pm 1,8$
	18	4050	От верхнегрудинной (FNP) до талии спереди	FNP-WL	$32,8 \pm 2,5$
	19	5040	Длина спины до талии	BNP-WL	$37,1 \pm 2,2$
	20	6011	Передний участок дуги через паховую область	-	$34,1 \pm 2,8$
	21	6012	Задний участок дуги через паховую область	-	$36,9 \pm 2,5$
	22	6010	Дуга через паховую область	-	$71,1 \pm 3,8$

*«вертикали» - это стенка сканера, расположенная позади торса.

Для уточнения формы торса при сжатии и его визуализации нарисовали треугольник через точки ВР(как наиболее характерные) и среднюю точку спины. Когда бюст сдавливается, видно, что точки груди смещаются в стороны с разной степенью. Расстояние между точками увеличивается, как показано на рис.2.7.

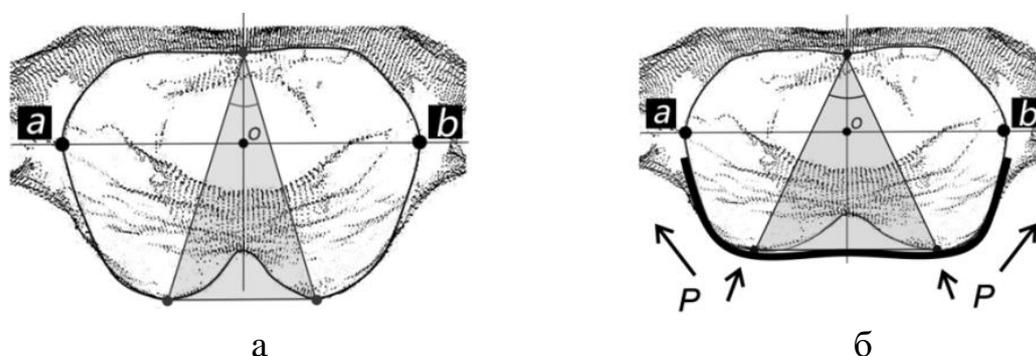


Рисунок 2.7 – Изменение сечения обхвата груди в статике: а – исходная форма сечения; б – форма сечения после сжатия

2.2.2. Изменение размерных признаков фигуры в динамике

Эксперимент проводили для следующих положений P1, P2, P3, P4, P5 и P6. P1, P2 – в положении стоя; P3, P4 – положения при плавании брассом при скольжении и замедлении (лежа на полу); P5, P6 – при плавании под водой [62], как показано на рис.2.8. Фигуры в положениях P1 и P2 сканировали 3D-сканером, в положениях P3, P4, P5 и P6 измеряли вручную. Каждое измерение проводили шесть раз, чтобы получить среднее значение, во время каждого измерения испытуемый задерживал дыхание на 2-3 секунды.

Четыре позы соответствовали следующим условиям:

- P1 стоя на полу с опущенными руками и P2 руками вверх;
- P3 лежа на животе - руки вытянуты вперед, ноги выпрямлены назад;
- P4 лежа на животе руки вытянуты вперед, ноги вместе и согнуты в коленях под углом 90°;
- P5 и P6 были такими же, как P3 и P4, но все измерения проводились под водой с помощью сантиметровой ленты.

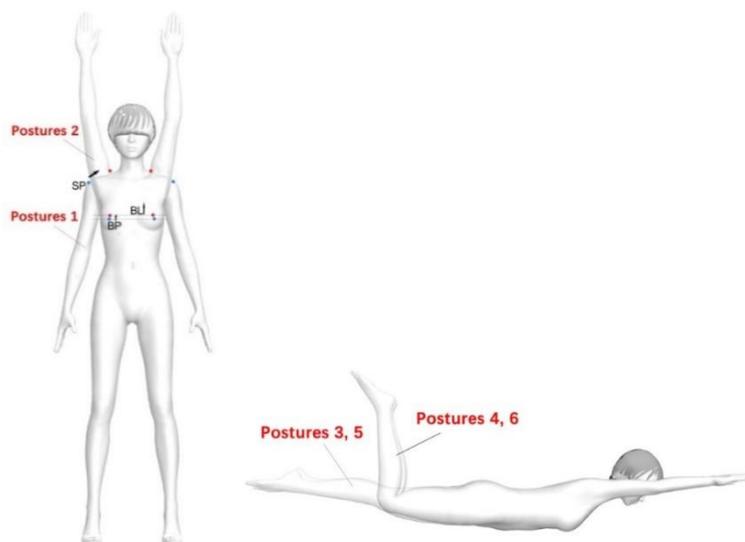


Рисунок 2.8– Динамические положения тела

Чтобы выяснить, как каждое положение влияет на размерные признаки, сравнивали средние различия (DIF) между теми же размерными признаками в

положениях стоя и лежа на животе; $DIF(m-n)_i$ - это разница между i -измерениями в положениях m и n , например, $DIF(P2-P1)_i$. Были рассчитаны различия $DIF(P2-P1)$, $DIF(P3-P1)$, $DIF(P4-P1)$, $DIF(P5-P1)$ и $DIF(P6-P1)$.

- $DIF(2-1)_i$ - разница между i размерными признаками фигуры в положениях P2 и P1;
- $DIF(3-1)_i$ - разница между P3 и P1;
- $DIF(4-1)_i$ - разница между P4 и P1;
- $DIF(5-1)_i$ - разница между P5 и P1;
- $DIF(6-1)_i$ - разница между P6 и P1.

На рис.2.9 показаны совмещенные контуры сканатаров и различия между BG, WG, HG и SL для положений P1 и P_i А типа, полученные при обмерах 3D-сканатаров. Контуры аватаров совмещали в точке CR как самой стабильной в ходе реальных экспериментов.

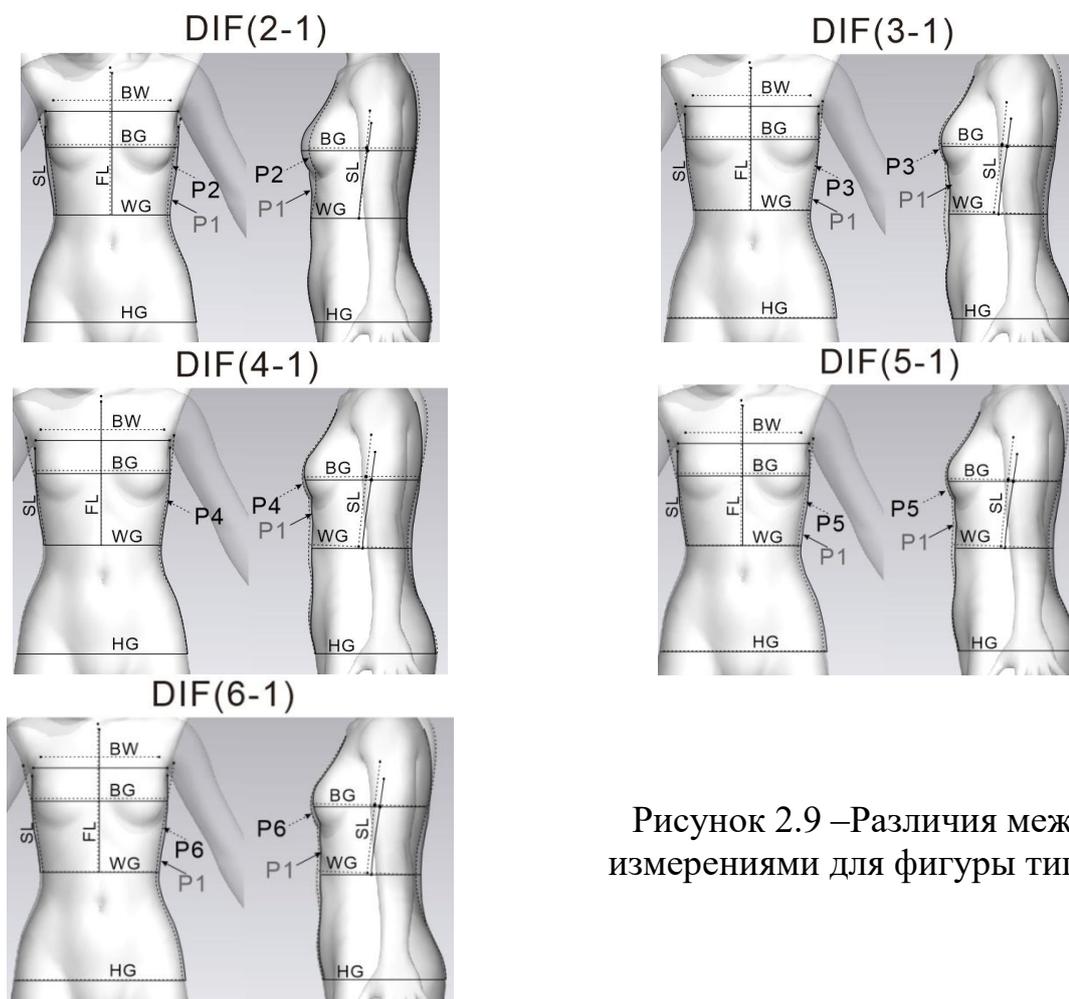


Рисунок 2.9 – Различия между измерениями для фигуры типа А

Как видно из рис. 2.9, профиль P1 представлен сплошной линией; при движении рук вверх линия груди также движется вверх; в положении лежа туловище наклоняется назад, а живот выпячивается вперед. Два вида различий были названы $\Delta G(DIF)$ или $\Delta L(DIF)$: $\Delta G(DIF)$ представляет собой изменение обхватов, $\Delta L(DIF)$ представляет собой изменение длины. $\Delta G(DIF)$ и $\Delta L(DIF)$ не представляют собой прибавок (ease, E) одежды, а только динамическое изменение размерных признаков фигуры.

Таблица 2.4 показывает разницу между обхватами тела, измеренными в статике и динамике, а таблица 2.5 - $\Delta L(DIF)$ между длинами передней и задней частей.

Таблица 2.4 –Максимальные значения ΔG_{DIF}

Подтипы фигур	ΔG_{DIF} для полных обхватов, переднего и заднего сегментов, %								
	BG	BG _F	BG _B	WG	WG _F	WG _B	HG	HG _F	HG _B
Y1	1,9	-11,2	19,4	-0,8	-4,4	1,5	-1,5	-1,8	-6,9
Y2	2,0	-11,3	16,2	-0,9	-2,3	-1,7	-1,7	-1,4	-5,2
A1	3,3	-14,8	17,9	-2,8	-3,8	-1,5	-2,6	1,3	-7,7
A2	3,0	-15,5	18,5	-3,1	-4,8	-0,6	-2,2	1,5	-5,5
B1	3,1	-12,0	18,7	-2,4	-4,1	1,4	-2,7	1,1	-6,7
B2	4,0	-15,3	19,0	-2,5	-3,3	-1,7	-1,3	0,8	-5,7
C1	3,5	-12,5	19,2	-2,2	-4,9	2,3	-2,6	-2,4	-5,9
C2	3,7	-11,7	17,9	-2,3	-7,3	5,3	-2,0	3,6	-7,4
Avg., S.D.	3,1 ± 0,8	-13,0 ± 1,8	18,4 ± 1,0	-2,1 ± 0,8	-4,4 ± 1,5	0,6 ± 2,5	-2,1 ± 0,5	0,3 ± 2,0	-6,4 ± 0,9

Если одежду конструируют с нулевыми прибавками (E), динамическое изменение обхватов тела сделает ее некомфортной, а это ухудшит динамику движений под водой. Следовательно, необходимо разрабатывать чертеж конструкции с учетом отрицательных прибавок (E), учитывая, что размеры частей тела будут меньше в динамическом состоянии. Например, если возрастает значение BG_B в динамике, больше, чем уменьшается значение BG_F, то в целом увеличивается полный BG. Поэтому костюм будет плотно прилегать на груди, и нет необходимости в увеличении абсолютного значения

отрицательной прибавки на уровне BG; WG значительно уменьшается в динамике, и нужно увеличить абсолютное значение отрицательной прибавки на уровне WG, чтобы одежда соответствовала фигуре.

Таблица 2.5 –Максимальные значения ΔL_{DIF}

Подтипы фигур	ΔL_{DIF} для измерений, %						
	SL	FNP-WL	BNP-WL	W _{BF}	W _{BB}	W _{SP}	L _{Cr}
Y1	22,9	10,5	-18,0	-31,3	31,2	-38,2	0,7
Y2	23,5	13,3	-14,2	-30,1	30,2	-32,0	0,5
A1	30,4	11,4	-15,3	-29,2	31,5	-43,8	-1,3
A2	24,3	9,9	-11,7	-30,8	32,7	-41,4	1,3
B1	28,1	10,3	-13,5	-32,0	30,1	-43,6	0,4
B2	30,8	10,1	-17,5	-35,5	35,3	-40,5	1,5
C1	36,8	12,6	-22,5	-39,1	30,8	-45,0	4,4
C2	32,3	6,4	-11,2	-33,6	34,1	-41,2	2,3
<i>Avg., S.D.</i>	$28,6 \pm 4,9$	$10,6 \pm 2,1$	$-15,5 \pm 3,7$	$-32,7 \pm 3,3$	$32,0 \pm 1,9$	$-40,7 \pm 4,1$	$1,2 \pm 1,7$

Таблица 2.5 показывает динамическую разницу между измерениями длин участков фигуры. Некоторые значения явно изменились в динамике. Например, измерения BNP-WL и W_{SP} на спине значительно уменьшились при поднятии рук, и размеры соответствующих частей гидрокостюма необходимо соответствующим образом уменьшить с учетом свойств материала, в противном случае материал будет собираться в складки на спине и плечах.

Другими словами, уменьшающиеся значения в таблице 2.4 и таблице 2.5 можно использовать для анализа и расчета отрицательных прибавок гидрокостюма.

Для получения деформированного виртуального двойника фигуры провели моделирование фрагментов основных частей тела. На рис.2.10 показаны два вида изменений в области обхвата груди:

1) под действием давления материала в статике. На рис. 2.10а показаны два сечения: первое сечение проходит через сосковую точку ВР до сжатия; второе сечение - через новое положение сосковой точки ВР' после сжатия. Как правило, ВР трансформировали в ВР' в двухмерном виде;

2) при изменении положения тела. На рис.2.10 б и с показаны сечения обхватов в двух положениях фигуры: P1 (руки опущены вниз) и P2 (руки подняты вверх). После поднятия рук обхват в поперечном сечении ВG становится меньше, а положение линии груди - выше. Как правило, ВР трансформировали в ВР'' в трехмерной виртуальной среде.

В рамках разработанного выше подхода поперечные сечения состоят из двух сегментов - переднего и заднего. Очевидно, что основные изменения происходят в переднем сегменте. Моделирование формы женской груди при сжатии была выполнена в 3dsMax путем редактирования полигональной «сетки», как показано на рис. 2.10. Координаты центральной точки «o» (рис.2.10 а) равны (0, 0). Координаты сосковой точки ВР в начальной позиции в статике равны (7,235 см, -15,148 см), как показано на рис.2.10 а), новые координаты точки ВР' после деформации обхвата составили (8,709 см, -13,566 см). Таким образом, для получения виртуального двойника в деформированном состоянии точку ВР необходимо переместить на $\Delta x = 1,474$ см и $\Delta y = 1,582$ см в новое положение ВР'.

На рис. 2.10 б и с показана верхняя часть торса в двух положения тела: в вертикальной статичной позе P1 (черная сетка), в вертикальном положении с поднятыми вверх руками P2 (зеленая сетка). На рис. 2.10 б показано, как изменилось положение ВР (Δz и $\Delta y'$) на виде сбоку при поднятии рук, на рис. 2.10 с показано такое же изменение в трехмерной среде. Согласно расчету координат, сосковая точка из исходного положения ВР (7,822, -15,014, 0,000) переместилась в новое положение ВР'' (6,780, -13,347, 0,442): $\Delta x' = -1,042$ см, $\Delta y' = 1,667$ см и $\Delta z = 0,442$ см. Более того, на рис. 2.10 а параллелепипед из красных линий показывает пространство перемещения ВР ($\Delta x'$, $\Delta y'$ и Δz) и вектор перемещения.

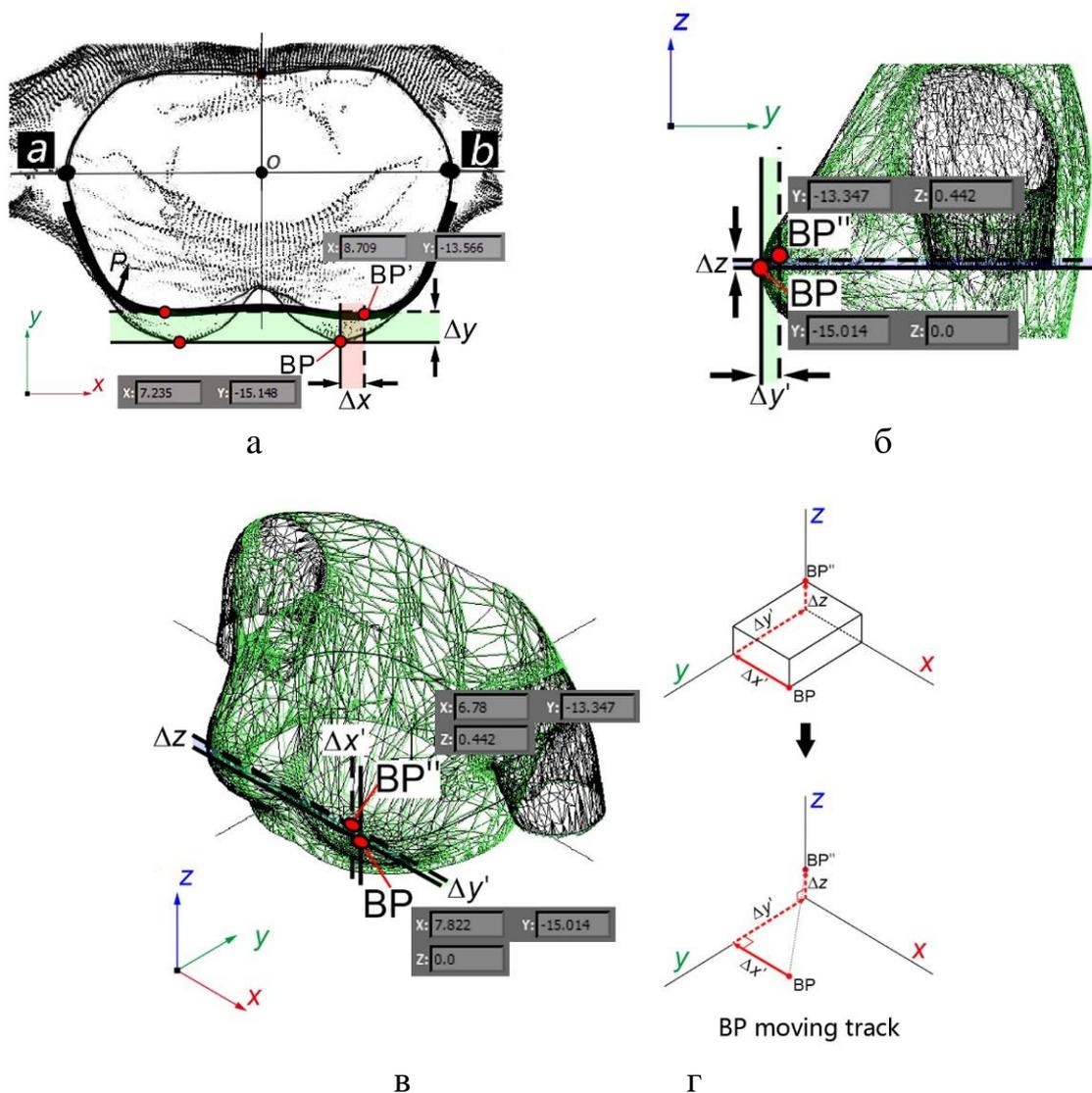


Рисунок 2.10 – Фрагмент цифрового двойника женской фигуры: а – сечение обхвата груди до и после компрессии в статике; б, в – сечение обхвата груди до и после смены положения рук в динамике; г– схема редактирования полигональной сетки

Для более точного построения и контроля деформированного аватара необходимо одновременно контролировать несколько точек. На рис.2.11 показаны сечения сканатаров реальных фигур в сагиттальных плоскостях для положений P1 и P2, совмещенные в точке CR. Антропометрические точки: FNP – верхнегрудинная точка, FWP – передняя точка обхвата талии, BWP – задняя точка обхвата талии и BNP – основания шеи сзади были использованы для определения длин участков 4050 (от FNP до талии) и 5040 (от BNP до талии) соответственно.

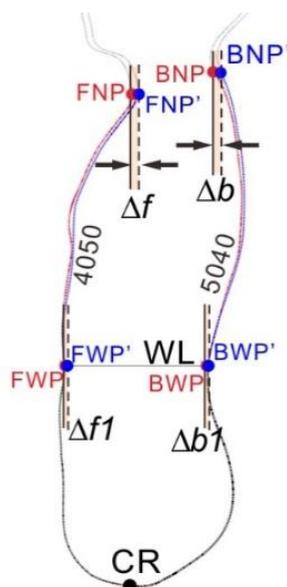


Рисунок 2.11 – Сечение в сагитальной плоскости в исходном положении и положении наклона верхней части тела вперед

На рис.2.11, на туловище в исходном положении передняя центральная линия показана красным цветом - от FNP до FWP ($FNP-WL = 4050$) и задняя центральная линия показана красным цветом - от BNP до BWP ($BNP-WL = 5040$). Точки и линии синего цвета иллюстрируют изменение наклона верхней части туловища назад после поднятия рук. Основываясь на данных измерений (табл. 2.3), динамическое изменение цифровой копии можно контролировать, регулируя четыре ключевых точки (FNP, BNP, FWP и BWP) и длины измерений 4050, 5040. Методы управления деформированными положением аватара после поднятия руки выглядит следующим образом:

- 1) передняя длина 4050 немного увеличивается (в среднем 10,6%), и FNP перемещается в FNP' на Δf , FWP перемещается в FWP' на Δf_1 ;
- 2) длина 5040 спинки немного уменьшается (в среднем составляет - 15,5%), и BNP перемещается в BNP' на Δb , BWP перемещается в BWP' на Δb_1 .

Заключение по главе 2

В этой главе представлены измерения, необходимые для изготовления чертежей деталей гидрокостюма.

1. Для каждого из существующих типов фигур Y, A, B, C разработаны по два новых подтипа, отличающихся формой торса, а именно соотношением размерных признаков передней и задней частей обхватов груди.

2. Проведены измерения и статистический анализ изменений размерных признаков 96 женских фигур при плавании и в положении стоя. Изучено изменение размеров тела при типичных динамических позах при нырянии, и установлена разница между ними в статике и динамике. Определены их значения необходимые при расчете прибавок гидрокостюма для каждого из подтипов фигур.

3. Деформированные цифровые сканы женских фигур созданы в виртуальной системе для проверки конструкции гидрокостюма и определяется деформация и способность материала к сжатию. Цифровые копии, полученные после преобразования реальных данных, информативны и практичны, а процесс создания цифровых копий с помощью технологии трехмерного сканирования тела является точным.

Глава 3 ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПРЕССИИ МАТЕРИАЛОВ

Результаты, полученные в этой главе, опубликованы в двух работах [172, 174].

3.1. Компрессия одежды на уровнях обхватов женской фигуры

Эта глава посвящена изучению влияния давления на обхваты женских фигур и описанию диапазона сжимаемости мягких тканей в пределах допустимого диапазона давлений. Из-за сложности и высокой стоимости реального эксперимента невозможно измерить человеческое тело в реальной гидравлической среде. В этом эксперименте использованы фрагменты гидрокостюма в виде управляемой «полосы», с помощью которой «сжимали» ключевые участки человеческого тела для имитации гидравлического давления.

Широкие полосы использовали для имитации гидравлического давления, изучения диапазона сжатия и предельного значения допустимых давлений. Таким образом, независимо от того, какое давление будет оказываться на тело человека под водой, допустимый диапазон сжимаемости тела человека был в этом эксперименте, который обеспечил упрощение дизайна.

Для изучения основных свойств гидрокостюма были выбраны четыре наиболее часто используемых материала (табл. 3.1).

С внешней стороны слой неопрена гидрокостюма связан со слоем трикотажного полотна, поэтому показатели свойств материала гидрокостюма зависят от физических свойств трикотажного слоя.

Таблица 3.1 – Материалы для экспериментального гидрокостюма

№.	Лицевые / изнаночные слои	Средний слой	Уровень качества
M1	Nylon/Nylon	100% CR	Высокий
M2	Polyester/Polyester	SCR (30% CR + 70% SBR)	Средний
M3	Polyester/Polyester	SBR	Низкий
M4	Nylon/Nylon	SCR (30% CR + 70% SBR)	Средний

*CR – хлоропрен-каучук (chloroprene-rubber); SCR – стирол-хлоропреновый каучук (styrene-chloroprene rubber); SBR – это бутадиен-стирольный каучук (styrene-butadiene rubber).

Для изучения свойств материала гидрокостюма и измерения силы его компрессионного воздействия был проведен эксперимент, моделирующий компрессионное давления сжатия на мягкие ткани. В ходе эксперимента измеряли изменение (уменьшение) обхватов тела ΔG , давление материала P и относительное удлинение материала E

Для моделирования влияния гидравлического давления на мягкие ткани обхвата тела измеряли изменение (уменьшение) обхватов тела ΔG и удлинение материала. Для создания компрессионного воздействия использовали полосу материала шириной 10 см, чтобы стягивать измеряемый обхват фигуры. В испытании участвовали 16 добровольцев, в том числе три добровольца имели подтип А1, пять добровольцев А2 и три добровольца В1, по одному добровольцу для каждого из других типов телосложения.

На рис. 3.1 показаны схема деформации обхвата фигуры, комплекс АМІ-3037-10 для измерения давления с помощью пневматических датчиков и способ крепления датчиков на поверхности тела.

Постепенно растягивая материал в одноосном направлении, останавливались, когда максимальное давление на мягкую ткань становилось критическим, и записывали данные (рис. 3.2). Для измерений были выбраны семь конструктивных обхватов фигуры: плечо, предплечье, грудь, талия, бедро, ягодицы и икры. Пневматические датчики давления размещали

спереди, по бокам, и сзади на каждом из обхватов тела. Изменения обхватов отмечали на полосе материала.

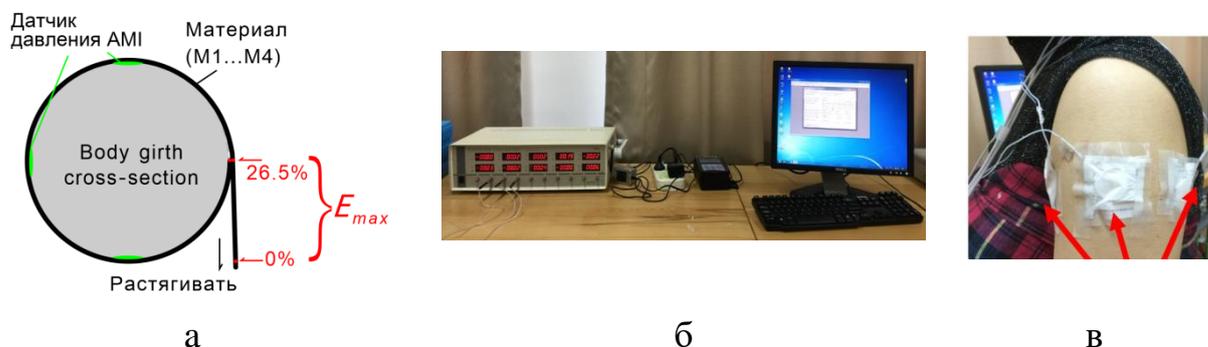


Рисунок 3.1 – Измерение давления: а – принципиальная схема испытаний; б – система АМІ-3037-10; в – расположение датчиков

Полосы материалов гидрокостюма растягивали до максимального удлинения E_{max} для получения максимально допустимого давления P_{max} . Максимально допустимое давление определяли по опубликованным литературным источникам [11, 70, 79, 90, 109, 139, 154, 156, 157, 159, 166, 169] согласно таблице 3.2 составляет $\leq 3,11$ кПа.

Таблица 3.2 – Рекомендации других исследователей по максимально допустимому давлению

Часть тела	Максимально-допустимое давление P_{max} , кПа, для одежды		
	Одежда с эффектом шейпинга	Спортивная одежда	Медицинская одежда
Рука	-	2,60	3,49
Грудь	3,75	3,27	4,66
Талия	4,52	2,35	5,33
Бедра	2,68	2,68	-
Бедро	2,22	2,10	2,00
Икры	2,34	2,4	2,67
<i>Сред.</i>	<i>3,10</i>	<i>2,57</i>	<i>3,63</i>
<i>Среднее значение $\leq 3,11$</i>			

Соответствующую максимальную деформацию обхвата тела ΔG регистрировали (рис. 3.2), соответствующее максимальное допустимое давление P_{\max} рассчитывали и регистрировали.



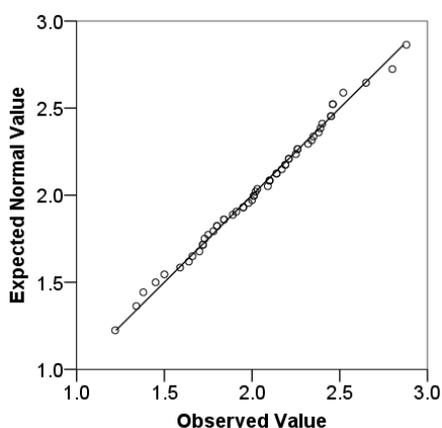
Рисунок 3.2– Схема измерения деформация обхвата фигуры при удлинении материалов



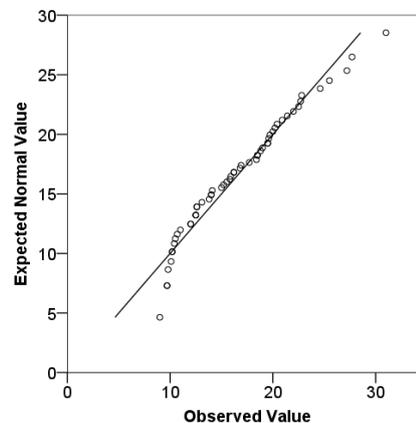
Рисунок 3.3– Значения максимальных деформаций обхватов тела ΔG_{\max} , -%

Из рис.3.3 видно, что легче других сжимается и деформируется обхват талии ($\Delta G_{\max} = -14,8\%$), а труднее–обхват икры ($\Delta G_{\max} = -7,8\%$). Если обхват талии уменьшается на $\Delta G_{\max} = -14,8\%$, можно предположить, что талия может быть максимально сжата на значение $-14,8\%$ материалом и гидравлическим давлением воды.

На рис.3.4 а и б показаны графики Q-Q изменения давления под материалами P_{\max} и их удлинения E_{\max} . Нормальное распределение находится в пределах 95% доверительного интервала.



а



б

Рисунок 3.4 – Графики Q-Q: а – давление P_{\max} ; б– удлинение E_{\max}

На рис. 3.5 и табл. 3.3 показаны усредненные значения максимального удлинения материалов М1...М4 E_{\max} для семи обхватов фигуры (Приложение Б, Таблицы Б.1). Четыре вида материалов были протестированы на P_{\max} и E_{\max} на семи частях человеческого тела, таким образом, всего было получено 56 наборов средних данных (двустороннее тестирование материалов).

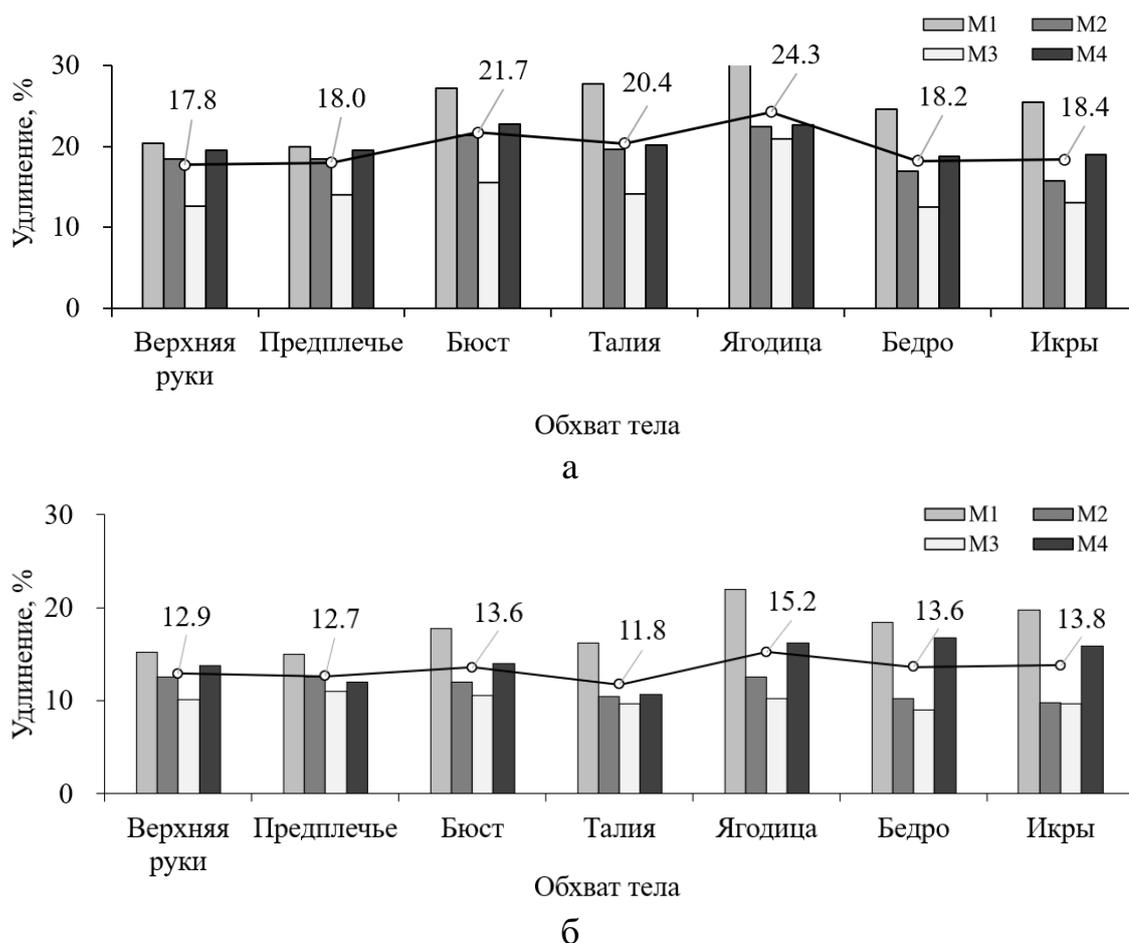


Рисунок 3.5 – E_{\max} на семи обхватах тела, %: а – растяжение вдоль петельных столбиков трикотажных полотен материала; б – поперек петельных столбиков материала

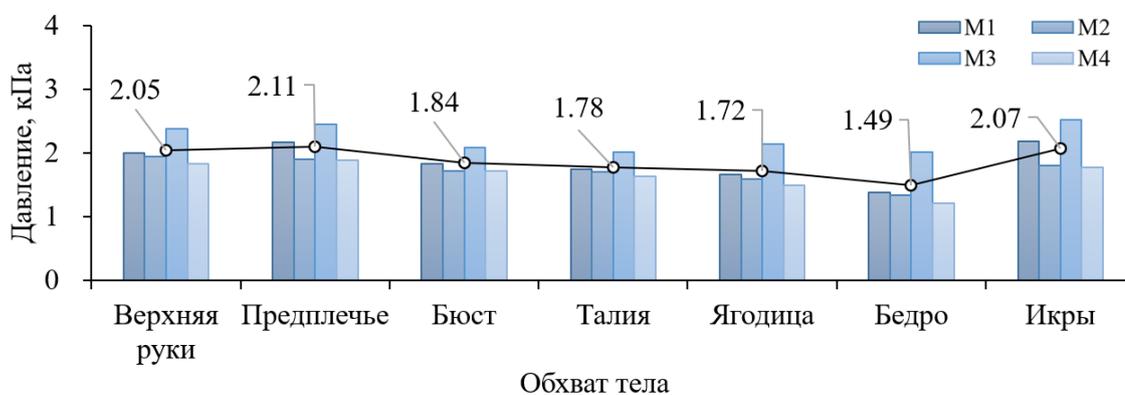
Среднее значение E_{\max} , измеренное поперек петельных столбиков составило 19,8%, а вдоль петельных столбиков трикотажных полотен 13,4%. Средняя величина по всем значениям E_{\max} составляет 16,6%.

Таблица 3.3–Измеренные значения E_{\max} , % для материалов М1...М4

Обхваты	Значения E_{\max} , %, для материалов				Среднее значение
	М1	М2	М3	М4	
Верхняя руки	17,8	15,5	11,4	16,7	15,3
Предплечья	17,5	15,6	12,5	15,8	15,3
Грудь	22,5	16,7	13,0	18,4	17,6
Талии	22,0	15,0	11,9	15,5	16,1
Бедер без учета выступа живота	26,5	17,5	15,6	19,5	19,8
Бедра	21,5	13,6	10,8	17,8	15,9
Икры	22,6	12,8	11,4	17,5	16,1
<i>Среднее значение</i>	21,5	15,2	12,4	17,3	16,6

Табл. 3.3 показывает, что материал может растягиваться до максимального значения в области обхвата бедер ($M1 = 26,5\%$), это означает, что эта область может выдерживать относительно большую деформацию материала при растяжении. Например, если материал растягивается до $E_{\max} = 19,8\%$ в области обхвата бедер, а соответствующее значение уменьшения обхватов составило $\Delta G_{\max} = -8\%$, это означает, что участок обхвата бедер на чертеже конструкции должен быть уменьшен на $19,8\%$ (то есть уменьшение конструкции составляет $-19,8\%$).

На рис. 3.6 и табл. 3.4 показана диаграмма P_{\max} для семи обхватов фигур в двух направлениях материалов (Приложение Б, Таблицы Б.2).



а

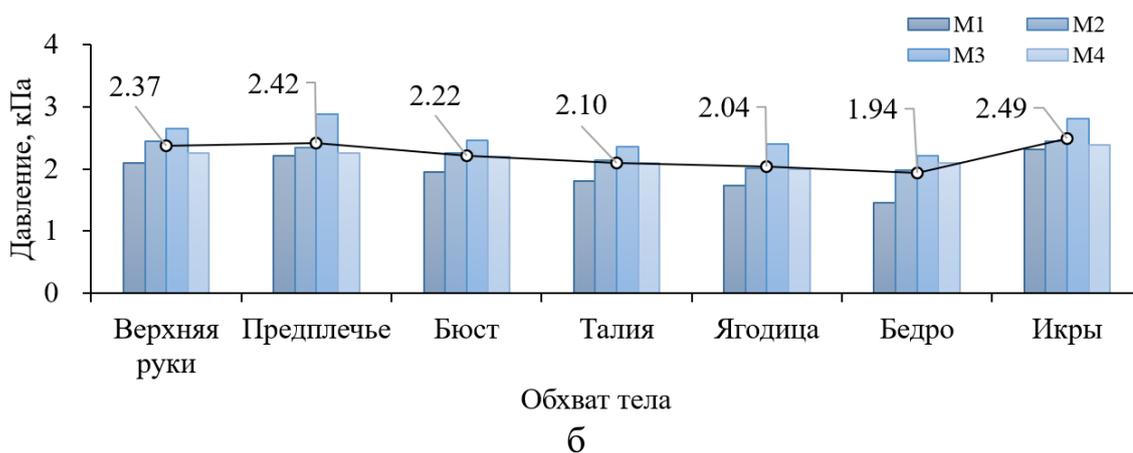


Рисунок 3.6 – Усредненные значения компрессионного давления P_{\max} , кПа, при растяжении полотна: а – вдоль петельных столбиков; б – поперек петельных столбиков

Среднее давление P_{\max} составило: поперек петельных столбиков материала $1,87 \pm 0,26$ кПа; вдоль петельных столбиков материала $2,22 \pm 0,25$ кПа. Среднее значение $2,04 \pm 0,36$ кПа.

Таблица 3.4 – P_{\max} для четырех материалов

Обхваты	Давление P_{\max} , кПа, под материалами				Среднее значение
	M1	M2	M3	M4	
Верхняя руки	2,06	2,20	2,52	2,05	$2,21 \pm 0,22$
Предплечья	2,19	2,13	2,67	2,07	$2,26 \pm 0,28$
Груди третий	1,90	1,99	2,28	1,96	$2,03 \pm 0,17$
Талии	1,78	1,92	2,19	1,87	$1,94 \pm 0,18$
Бедер без выступа живота	1,70	1,80	2,27	1,75	$1,88 \pm 0,26$
Бедра	1,42	1,66	2,12	1,66	$1,71 \pm 0,29$
Икры	2,26	2,13	2,66	2,09	$2,28 \pm 0,26$
Среднее значение	$1,90 \pm 0,30$	$1,97 \pm 0,20$	$2,39 \pm 0,23$	$1,92 \pm 0,17$	$2,04 \pm 0,36$

Из табл. 3.4 видно, что наименьшее давление зафиксировано в области обхвата бедра; наибольшее – обхвата икры. Все измеренные значения давления меньше 2,7 кПа, что находится в пределах допустимого диапазона рекомендуемого давления ($\leq 3,11$ кПа).

3.2. Соотношение между уменьшением обхватов фигуры, удлинением материала и компрессионным давлением

3.2.1. Сжимаемость мягких тканей тела человека

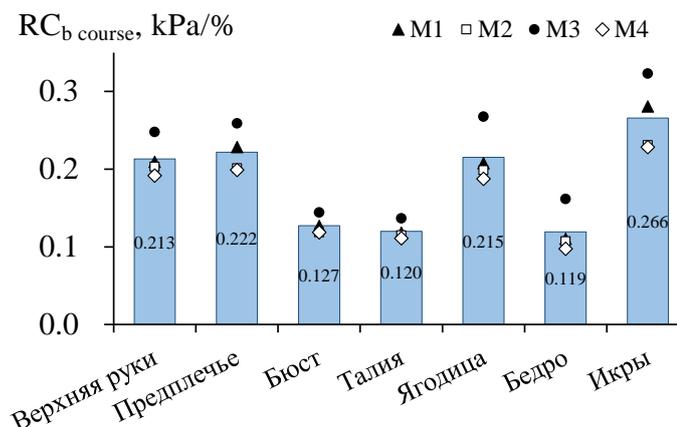
Для анализа и параметризации характеристик мягких тканей выбранных семи частей тела под действием материала предложен коэффициент сжатия мягких тканей тела человека RC_b , определяемый как

$$RC_b = | P_{\max} / \Delta G_{\max} | \quad (3.1)$$

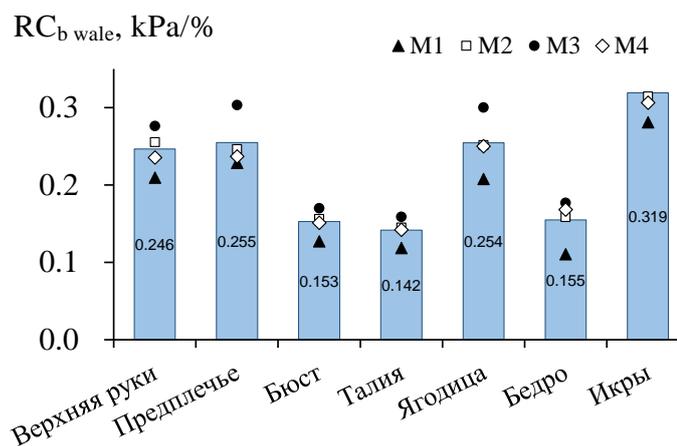
где P_{\max} – достигнутое допустимое давление под материалом одежды, кПа;
 ΔG_{\max} – величина уменьшения обхвата, -%.

Коэффициент RC_b показывает величину давления, возникающего под растянутым на 1 % материалом.

Из рис. 3.7 видно, что наименьшие значения RC_b получены для обхватов талии и бедра, Эти участки фигуры можно сжимать и деформировать легче других (Приложение Б, Таблицы Б.3). На других участках незначительные удлинения материала приводят к возникновению значительного компрессионного давления.



а



б

Рисунок 3.7 – Значения RC_b : а –вдоль петельных столбиков; б–поперек петельных столбиков

Из табл. 3.5 видно, что наименьшее значение RC_b соответствует обхвату талии, а наибольшее - обхвату икры. С помощью RC_b можно прогнозировать величину давления сжатия, оказываемого на обхват фигуры. Чем больше значение RC_b , тем больше давление сжатия. Например, значение $RC_b = 0,27$ кПа/% для материала M2 означает, чтобы уменьшить обхват ΔG на 1,0%, надо приложить давление сжатия 0,27 кПа.

Таблица 3.5–Коэффициенты RC_b для материалов M1...M4

Обхваты	RC_b , кПа/%, для материалов				Среднее значение
	M1	M2	M3	M4	
Верхняя руки	0,21	0,23	0,26	0,21	0,23
Предплечья	0,23	0,22	0,28	0,22	0,24
Груды третий	0,13	0,14	0,16	0,14	0,14
Талия	0,12	0,13	0,15	0,13	0,13
Бедер без учета выступа живота	0,21	0,23	0,28	0,22	0,24
Бедра	0,11	0,13	0,17	0,13	0,14
Икры	0,28	0,27	0,34	0,27	0,29
Среднее значение	0,19	0,19	0,24	0,19	0,20

3.2.2. Растяжение материалов

Коэффициент растяжимости материала RC_m (Приложение Б, Таблица Б.4) предложили и рассчитали по формуле (3.2) для согласования между собой

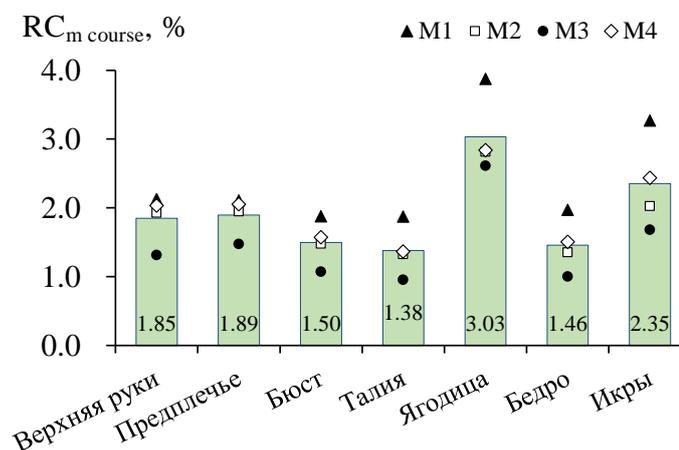
способности мягких тканей фигуры сжиматься под влиянием растяжения материала, адекватного отрицательной конструктивной прибавке

$$RC_m = | E_{\max} / \Delta G_{\max} | \quad (3.2)$$

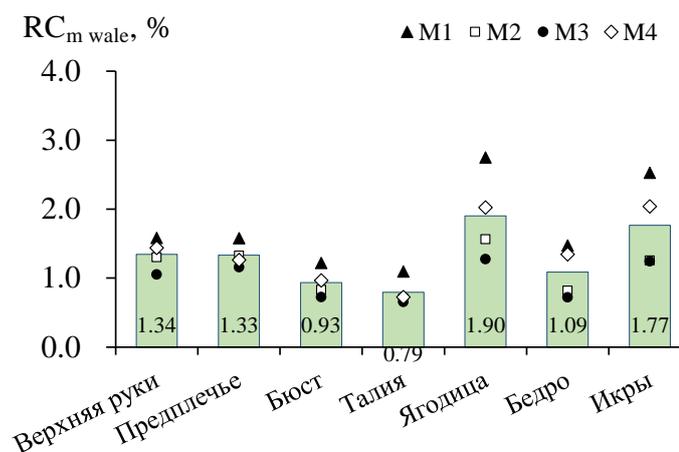
где RC_m – коэффициент растяжимости материала; ΔG_{\max} – величина уменьшения обхвата, -%; E_{\max} – величина удлинения материала, %.

Из рис. 3.8 видно, что наименьшие значения RC_m получены для уровней обхватов талии и бедер.

В табл. 3.6 приведены значения RC_m материалов M1...M4 при статических испытаниях женского тела.



а



б

Рисунок 3.8 – Значения RC_m : а – вдоль петельных столбиков полотна; б – поперек петельных столбиков полотна

Таблица 3.6–Средние RC_m материалов на основных участках торса

Обхваты	RC_m для материалов				Среднее значение
	M1	M2	M3	M4	
Верхняя руки	1,85	1,61	1,18	1,73	1,60
Предплечья	1,84	1,64	1,32	1,66	1,61
Груды третий	1,55	1,15	0,90	1,27	1,22
Талия	1,48	1,01	0,80	1,04	1,09
Бедер без учета выступа живота	3,31	2,19	1,94	2,43	2,47
Бедра	1,72	1,08	0,86	1,42	1,27
Икры	2,90	1,64	1,46	2,24	2,06
Среднее значение	2,09	1,48	1,21	1,69	1,62

Из табл. 3.6 видно, что относительный максимум RC_m для M1 приходится на область обхвата бедер. Среднее значение RC_m составило 1,62. С помощью RC_m можно рассчитать значение деформации материала, которое необходимо для относительного уменьшения обхвата фигуры на ΔG . Например, для материала M2 величина $RC_m = 2,19$ на уровне обхвата бедер означает, что материал M2 необходимо растянуть на 2,19 % для уменьшения обхвата бедер на $\Delta G = 1,0\%$.

RC_m можно использовать:

- для расчета и нахождения конструктивной прибавки E_{min} для расчета и построения конструкции гидрокостюма на разных антропометрических уровнях; чем больше значение RC_m , тем выше значение E_{min} (уравнение 3.3).

- для классификации участков женских фигур от легко до трудно деформируемых (сжимаемых): чем больше значение RC_m , тем труднее обхват сжимается материалом;

- для обоснования подходящего материала с учетом компрессионных свойств для выбора подходящего материала: чем больше значение RC_m , тем более растяжимым является материал одежды.

3.3. Конструктивные прибавки

Гидрокостюмы разрабатывают с отрицательной прибавкой E . Чтобы гидрокостюм сохранял посадку на фигуре под водой, гидрокостюм должен облегать фигуру с учетом динамики движений. Следовательно, необходимо рассчитывать диапазон прибавок от E_{\min} до E_{\max} , которые не только обеспечивают удобство при эксплуатации, но и удовлетворяют условиям динамического изменения размеров человеческого тела для обеспечения облегания и свободы движений.

По известным значениям ΔG_{DIF} и RC_m для фигуры и материала рассчитали минимальную конструктивную прибавку E_{\min} .

$$E_{\min} = RC_m \cdot \Delta G_{DIF} = (E_{\max} \cdot \Delta G_{DIF}) / \Delta G_{\max}, \quad (3.3)$$

где E_{\min} - минимальная прибавка, %; RC_m - коэффициент растяжимости материала; ΔG_{DIF} - величина уменьшения обхвата фигуры в позициях P1...P6, %.

Последовательность расчета E_{\min} схематично показана на рис. 3.9. Например, для обхвата талии WG $\Delta G_{DIF} = -3,8\%$, то для материала M1, со значением $RC_m = 1,48$ (табл.3.5) прибавка к обхвату талии E_{\min} составит по формуле $1,48 \cdot (-3,8) = -5,6\%$.

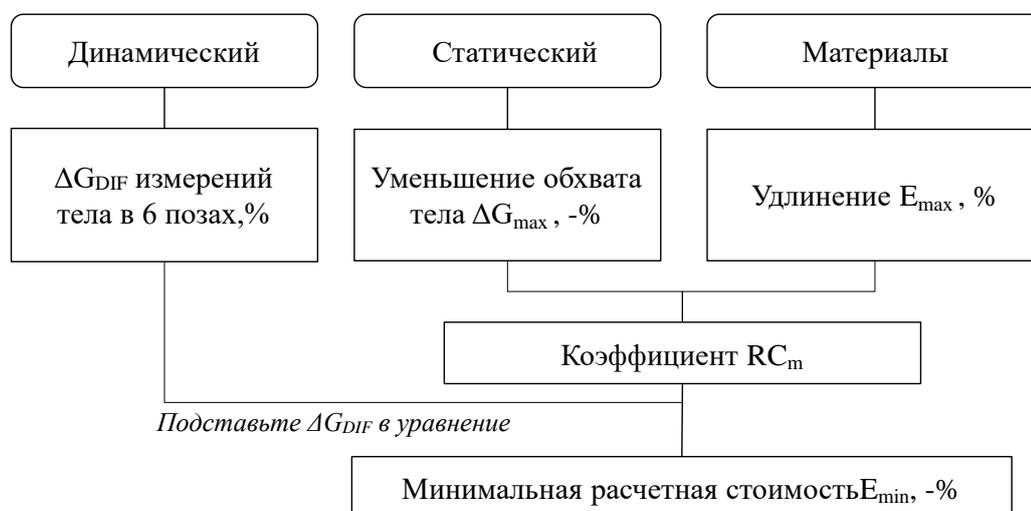


Рисунок 3.9 –Блок схема расчета минимальной конструктивной прибавки E_{\min}

Были рассчитаны значения E_{\min} для конструктивных обхватов по уравнению (3.3) со средним значением RC_m и ΔG_{DIF} для 8 типов телосложения. Объединяя данные табл. 3.5 с ΔG_{DIF} (табл. 2.4 в Главе 2), были рассчитаны E_{\min} для основных обхватов тела (Приложение Б, Таблица Б.5...10), как показано в табл. 3.7. Например, E_{\min} для талии WG - это ΔG_{DIF} , умноженное на RC_m .

Таблица 3.7– E_{\min} для M1...M4 и 8 типов телосложения

Обхваты	Значения конструктивных прибавок для восьми типов телосложения, -%								Сред.
	Y1	Y2	A1	A2	B1	B2	C1	C2	
Передняя часть обхвата груди (BG_F)	13.6	13.8	18.0	18.9	14.6	18.6	15.2	14.2	15.9 ± 2.2
Талии (WG)	0.9	1.0	3.1	3.4	2.6	2.7	2.4	2.5	2.3 ± 0.9
Передняя часть обхвата талии (WG_F)	4.9	2.6	4.2	5.4	4.6	3.7	5.5	8.1	4.9 ± 1.6
Бедер без учета выступа живота (HG)	4.6	5.3	8.0	6.8	8.3	4.0	8.0	6.2	6.4 ± 1.7
Задняя часть обхвата бедер (HG_B)	21.3	16.1	23.8	17.0	20.7	17.6	18.2	22.9	19.7 ± 2.9
Бедро	1.9	1.8	1.6	2.4	0.7	2.2	3.3	3.1	2.1 ± 0.8
Икры	4.8	4.0	4.3	4.0	5.0	2.5	7.3	5.3	4.7 ± 1.4
Плечо	0.5	1.4	2.3	1.8	1.6	1.1	1.2	1.8	1.5± 0.5
Предплечья	0.9	1.4	2.1	2.1	2.1	1.8	2.5	2.1	1.9± 0.5

На рис.3.10 показана диаграмма значений $E_{\min} = - 32,9...3,1\%$. Из рис.3.10 видно, что они принимают в основном отрицательные значения.

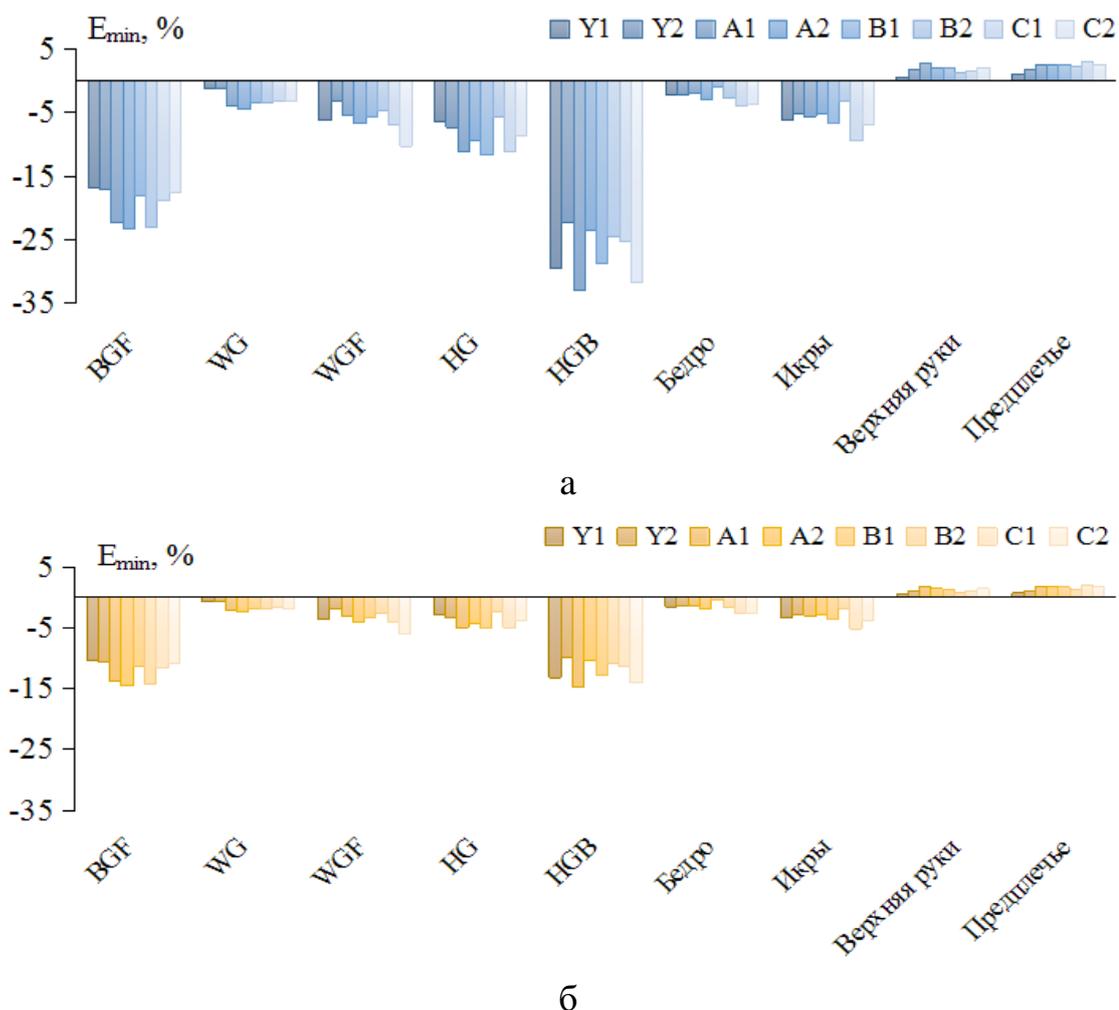


Рисунок 3.10 – Значения E_{\min} : а –вдоль петельных столбиков; б–вдоль петельных рядов

Таким образом, впервые конструктивные прибавки дифференцированы в зависимости от полноты фигуры. Найденные значения E_{\min} для обхватов фигуры будут использованы при проектировании гидрокостюма путем их согласования с динамическим изменением размерных признаков фигуры.

Заключение по главе 3

Измерены значения давления материалов гидрокостюма на тело. Проведен статистический анализ величин давления, которое оказывают различные материалы гидрокостюма на мягкие ткани женского тела.

1. Среднее значение конструктивной прибавки E_{\max} составляет -19,8% (вдоль петельных столбиков) и -13,4% (поперек петельных столбиков). Таким образом, допустимое значение уменьшения обхватов в конструкции гидрокостюма составило -16 %

2. Предложен индекс RC_b для прогнозирования давления материала на участках женской фигуры и совершенствования процедуры выбора подходящего материала гидрокостюма.

3. Измерены значения относительного уменьшения обхватов фигуры от наиболее до наименее сжимаемых по порядку - *талия, грудь, бедро, предплечье, плечо, ягодица, икры*, Усредненная по всем обхватам верхняя граница значений ΔG составила -11,0%.

4. Предложен индекс RC_m для прогнозирования относительного уменьшения обхвата фигуры ΔG под действием облегающего материала одежды с относительным удлинением E_{\max} . Индекс можно использовать для расчета среднего удлинения, необходимого для уменьшения обхвата тела на 1%.

5. Получены допустимые значения отрицательной прибавки E_{\min} для конструкции гидрокостюма и восьми новых типов женских фигур при подводном плавании.

Глава 4 ВЗАИМОСВЯЗЬ МЕЖДУ ПОКАЗАТЕЛЯМИ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ И ДАВЛЕНИЕМ ГИДРОКОСТЮМА НА ТЕЛО

Результаты, полученные в этой главе, опубликованы в 1 работе [149].

4.1. Механические испытания материалов гидрокостюма

Гидрокостюм очень близко расположен к поверхности человеческого тела благодаря эластичности материала, и он будет создавать большое контактное давление на суше и под водой. Факторы, влияющие на характеристики давления гидрокостюмов, включают в себя различные показатели свойств материалов, и взаимосвязь между ними необходимо учитывать при изучении давления.

Для изучения взаимосвязи между показателями механических свойств материалов и величиной давления под одеждой, оказываемого гидрокостюмом на человеческое тело, в этом исследовании был использован комплекс приборов KES–FB1...4 (Kawabata Evaluation System–Fabric производства КАТОТЕСН, Japan): прибор для испытаний на растяжение и сдвиг KES–FB1, прибор для испытаний на изгиб KES–FB2, прибор для испытаний на сжатие KES–FB3, прибор для испытаний фрикционных характеристик KES–FB4.

В зависимости от направления петельной структуры внешнего трикотажного полотна материалы гидрокостюма подразделяются на изготовленные в поперечном и в продольном направлении. Четыре материала разрезали на пробы одинакового размера 20 x 20 см: из каждого материала нарезали по три пробы поперек и вдоль петельных столбиков.

На рис. 4.1 показаны материалы гидрокостюмов, использованные для экспериментов. Материал гидрокостюма состоит из трех слоев: средний слой – неопрен, внутренняя и внешняя стороны – трикотажные материалы (рис.

4.1 а). Для исследования были выбраны четыре вида экспериментальных материалов, увеличенное изображение их поверхностей показано на рис. 4.1 б.

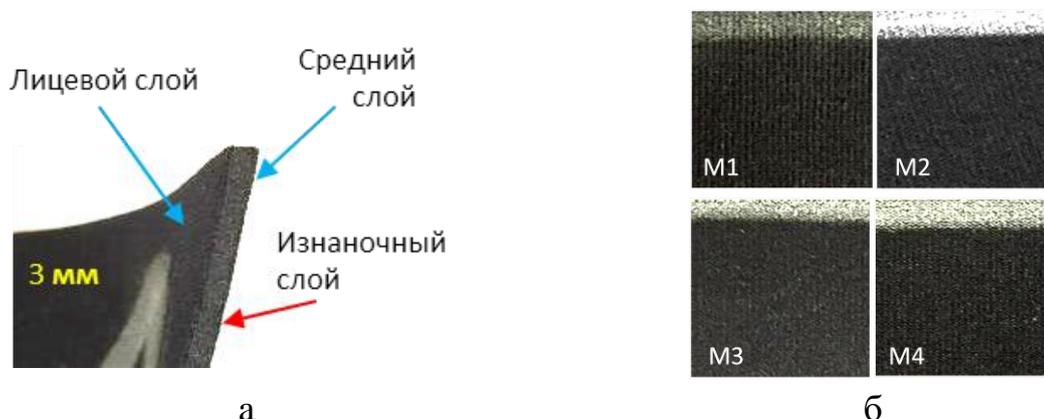


Рисунок 4.1 – Многослойный материал: а – структура слоев; б – структура поверхности

Во-первых, свойства материалов на растяжение проверяли с помощью KES-FB1. Показатель деформации (удлинения) EMT (%) показан на рис.4.2 и в таблице 4.1 (Приложение В, рис.В.1...12). Чем больше его значение, тем лучше растяжимость материала.

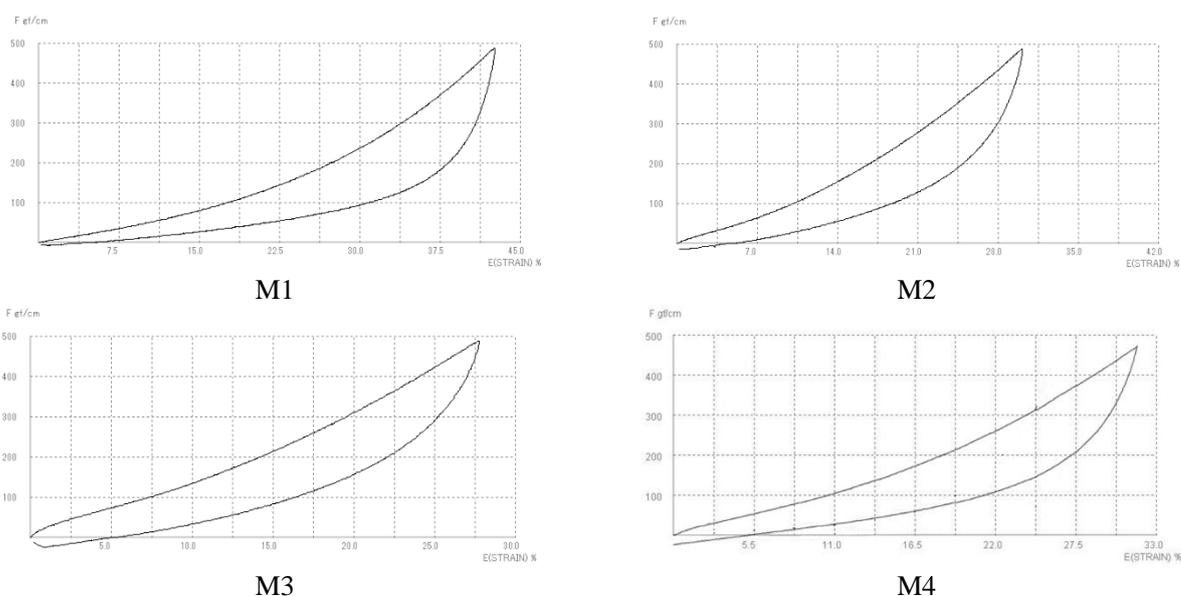


Рисунок 4.2 – Диаграммы "растяжение (500 сН/см) – отдых" для M1...M4 вдоль петельных столбиков лицевой поверхности материала

Удлинение материалов в направлении поперек петельных столбиков

было в в допустимых пределах, поэтому измеряли ЕМТ при стандартной нагрузке 500 сН/см. Затем ЕМТ измеряли при слабой нагрузке 50 сН/см (в режиме повышенной чувствительности) в двух направлениях материала; результаты измерений приведены в табл. 4.1.

Таблица 4.1 –ЗначенияЕМТ

Материалы	ЕМТ, %, при усилии растяжения, сН/см		
	500	50	
	ЕМТ _с , %	ЕМТ _с , %	ЕМТ _в , %
М1	42,65	22,45	18,03
М2	30,17	26,40	12,69
М3	27,80	11,64	9,32
М4	30,56	24,84	13,91

Можно обнаружить, что высококачественный материал М1 лучше растягивается, за ними следует М2. Далее были протестированы и другие показатели механических свойств, некоторые ключевые параметры приведены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Показатели свойств, измеренные при нагрузке 50 сН/см

Показатели	Направление столбиков	М1	М2	М3	М4
LT*	поперек	0,47	0,52	0,61	0,54
	вдоль	0,53	0,56	0,63	0,58
G, сН / см·(°)	поперек	2,52	3,59	7,31	3,14
	вдоль	2,49	3,57	7,08	3,62
WT, сН. см/см ² *	поперек	2,12	1,65	1,43	1,88
	вдоль	2,99	3,70	1,82	3,57
RT, %*	поперек	61,79	58,79	50,35	54,79
	вдоль	62,88	61,89	53,85	54,06
2HG	поперек	5,28	8,75	19,20	7,85
	вдоль	4,15	7,35	18,90	8,13
RC, %	–	51,52	58,00	53,64	57,43

Из таблицы 4.2 видно, что чем тверже материал, тем больше значение LT (максимально возможное $LT = 1$) и G . Чем сильнее сопротивление материала деформации, тем больше значение WT . Чем сильнее восстановительная способность и лучше эластичность, тем больше значение RT , но меньше значение $2HG$. Чем лучше способность материала к восстановлению при сжатии, тем больше значение RC . Таким образом, сравнение данных показал, что у $M1$ лучше эластичность и характеристики восстановления при сжатии, за ним следует $M2$.

С помощью теста и сравнения KES можно вычленить физическую величину, отражающую характеристики материала гидрокостюма для его описания. Например, сжимаемость и растяжимость материала влияют на комфорт гидрокостюма. Когда пластичность материала высокая, а свойства сжатия превосходны, то общая деформация материала вызывает меньшее ощущение сжатия человеческого тела; в противном случае, сжатие будет ощущаться сильнее, потому что материал кажется более «твердым». Кроме того, упругость и сжимаемость материала также окажут значительное влияние на комфорт гидрокостюма.

Параллельно нагрузку F растяжения использовали для анализа взаимосвязи между материалом и давлением на тело.

Графики зависимости удлинения E от нагрузки F (стандартное усилие 500 сН/см) показаны на рис. 4.3. Вдоль петельных столбиков материала среднее значение удлинения составляет менее 14,7%, это соответствует максимальному допустимому удлинению E материала $M3$, измеренному при стягивании фигуры вдоль обхватов (глава 3). Поэтому целочисленное значение EMT_c выбрали менее 15,0% и по графикам находили для них значения нагрузки для анализа свойств $M1...M4$. Нагрузка составила для $M1$, $M2$, $M4$ – 70 сН, $M3$ – 150 сН. EMT_w должна быть меньше 9,32% ($M3$).

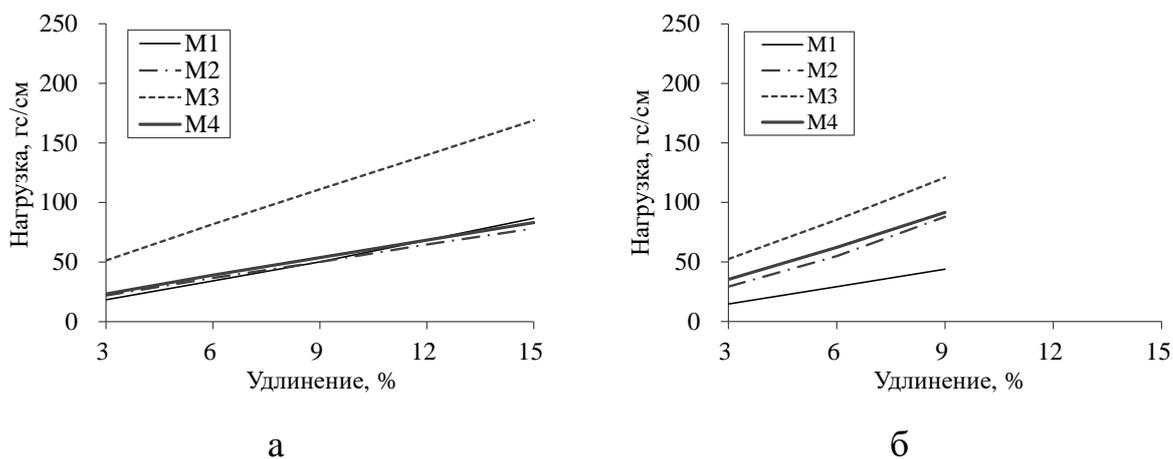


Рисунок 4.3–Графики зависимости удлинения от растягивающей нагрузки: а –вдоль петельных столбиков материала; б–поперек петельных столбиков

Затем для различных удлинений 3, 6, 9, 12, 15 % выбирали значения усилий.

4.2. Корреляционно–регрессионный анализ

Для изучения корреляции между показателями механических свойств и значением давления был выполнен дальнейший анализ (данные по растягивающей нагрузке приведены в Приложении В, Таблицы В.2 и В.3), на основании которого рассчитали коэффициенты корреляции (табл.4.3).

Таблица 4.3– Коэффициенты корреляции между показателями P_{\max} , E_{\max} и данными измерений KES

KESиндексы	Усилие растяжения P_{\max}		Удлинение при растяжении E_{\max}	
	Вдоль пет.ст	Поперек пет. ст	Вдоль пет.ст	Поперек пет. ст
LT	0,693	0,973	-0,937	-0,834
WT	-0,988	-0,967	0,496	0,989
2HG	0,822	0,956	-0,904	-0,818
F3	0,893	0,970	-	-
F6	0,914	0,971	-	-
F9	0,930	0,968	-	-
F15	0,959	-	-	-

*LT– жесткость при растяжении, WT– энергия растяжения, сН.см/см²; 2HG– упругость при незначительном сдвиге, сН/см

Расчеты проводили для доверительного интервала 95% для $n = 4$.

«Жирный шрифт» означает, что коэффициент корреляции превышает критическое значение $r = 0,811$ для значимости $sig. < 0,05$. Видно, что корреляция между максимально допустимым давлением P_{max} , удлинением E_{max} и параметрами WT, LT, и Fx при удлинениях на 3%, 6%, 15% самые высокие.

4.3. Модель прогноза

С помощью программы SPSS (Приложение В, Рисунок В.13...17) были созданы функциональные модели, состоящие из параметров KES.

Значение давления, обеспечиваемое эластичными материалами, находится в определенном диапазоне, поэтому S-образная кривая (сигмовидная функция) и модели обратной пропорциональной функции использовали для прогнозирования взаимосвязи между давлением и показателями свойств материала.

$$y = e^x = \exp\{f(x)\} \quad (4.1)$$

$$y = k / x + \varepsilon_i \quad (4.2)$$

где y – зависимая переменная давления, e – естественное основание; x – независимые переменные показателей свойств материала, $i = 1, 2, 3, 4$, $x \neq 0$, $y > 0$, ε_i – член случайной ошибки (случайной величины).

В результате получили многовариантные уравнения (4.3...4.7) с коэффициентами $sig. < 0,05$ и коэффициентами корреляции Pearson R–Square $> 0,930$. Полученные уравнения хорошо соответствуют реальности:

– в направлении вдоль петельных столбиков

$$P_{max} = 2.7 - 78.81 / F15_c \quad (4.3)$$

$$P_{\max} = 1.17 + 1.95 / WT_c \quad (4.4)$$

– в направлении поперек петельных столбиков

$$P_{\max} = 0.81 + 2.45 / WT_w \quad (4.5)$$

$$P_{\max} = 4.47 - 1.2 / LT_w \quad (4.6)$$

$$P_{\max} = e^{\left(1.03 - \frac{1.96}{2HG_w}\right)} \quad (4.7)$$

где e является естественным основанием логарифма, $e = 2,718$; WT и LT – KES–параметры свойств материала при растяжении; $2HG$ – параметр KES свойств сдвига материала.

Как видим, все уравнения имеют $sig.<0,05$ и адекватны. P_{\max} – максимальное значение давления; из уравнений (4.3...4.6) можно определить диапазон давления при $0 < P_{\max} < 3,0$ кПа.

Полученное уравнение использовали для прогнозирования величины давления материала гидрокостюма на тело женщин. Во–первых, были измерены растягивающие свойства материала по KES. Во–вторых, были получены значения F_x для образцов материала, значение растягивающего усилия F_{15} , соответствует удлинению 15%. По полученным данным измерений определяли, является ли значение давления на человеческое тело допустимым или нет.

4.4. Проверка математических моделей прогнозирования

Хотя уравнения (4.3)...(4.7) имеют высокую корреляцию, погрешность δ в уравнениях все же необходимо определить путем проверки данных:

$$\delta = \Delta / y \cdot 100, \quad (4.8)$$

где δ – фактическая относительная погрешность, %; Δ – абсолютная ошибка прогнозирования, равная разности между теоретическим и фактическим давлением ($\hat{P} - P_{\max}$); y – измеренное значение P .

Таблица 4.4 – Относительная погрешность между теоретическим и фактическим давлением под материалами М1...М4

Уравнения	Показатель свойств материала	Относительная погрешность, %				
		М1	М2	М3	М4	Сред.
(4.3)	F15 _c	-3,56	-1,40	0,03	5,76	2,68
(4.4)	WT _c	-1,88	-1,09	0,38	3,65	1,78
(4.5)	WT _w	1,47	2,78	 -0,49 	-3,25	2,00
(4.6)	LT _w	 -0,21 	-3,16	-0,79	3,09	1,82
(4.7)	2HG _w	 -0,25 	0,26	 -0,27 	 -0,11 	0,22

Установлено, что разность составляет $-3,56...+5,76\%$, минимальная разность составила $0,03\%$, Уравнение (4.7) обеспечивает наименьшую разницу $0,22\%$ ($0,002$ кПа). При последующем прогнозировании величины давления готового гидрокостюма будет дополнительно проверяться его рациональность.

Заключение по главе 4

1. В этой главе выявлены отношения между различными факторами. Параметры KES использовали для получения многомерных уравнений и прогнозирования диапазона комфортного давления.

2. Максимальное удлинение материала на KES–FB1 составило

9,32...42,65 %, что значительно превышает максимальное удлинение 10,80...26,50 %, измеренное в экспериментах по стягиванию полосой материала обхватов фигуры.

3. Предложены новые показатели – растягивающие усилия для определенных значений удлинения, пригодные для проектирования компрессионных гидрокостюмов в системе «тело–оболочка». Подходящие значения F_x и соответствующие им удлинения следующие: когда деформации растяжения материала составляет от 3 до 15%, напряжение растяжения F должно составлять менее 200 сН/см.

4. Подтверждена возможность использования показателей физик–механических свойств материалов для прогнозирования давления на мягкие ткани фигуры.

Глава 5 РАЗРАБОТКА ДИЗАЙНА ГИДРОКОСТЮМА

В этой главе разработана новая методика конструирования женских гидрокостюмов и выполнена проверка в виртуальной и производственной средах (результаты опубликованы в шести статьях) [147-150, 174, 175].

5.1. Дизайн прототипа гидрокостюма

5.1.1. Первоначальный прототип тесной одежды

В настоящее время не существует полной и детальной методики построения чертежей облегающей полноростовой одежды, комбинирующей нижнюю и верхнюю части. В соответствии с расположением основных конструктивных линий на чертежах женской фигуры на рис. 5.1 показана схема их отображения на чертеже конструкции, основанная на теоретических и практических знаниях в области антропометрии. Схема разметки фигуры выполнена 9 вертикальными секущими плоскостями 0-8. За основу была взята схема разметки базисных сеток по методике ЕМКО СЭВ.

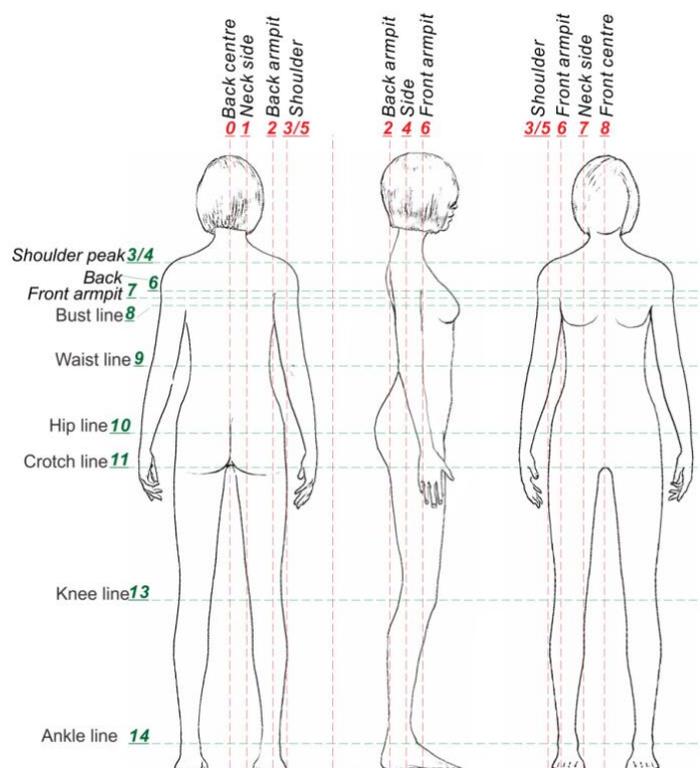


Рисунок 5.1 – Контрольные линии на женской фигуре

Горизонтальные линии обозначили зелеными цифрами 0, 1, 2, 3... n ; вертикальные – красными цифрами 0, 1, 2, 3... n ; корпус и нижняя часть имеют непрерывную нумерацию. Точки пересечения линий нумеруются двумя цифрами. Первая цифра соответствует номеру горизонтали, вторая – номеру вертикали (рис. 5.2). На рис. 5.2 показан чертеж базовой конструкции с нулевой прибавкой среднего размера.

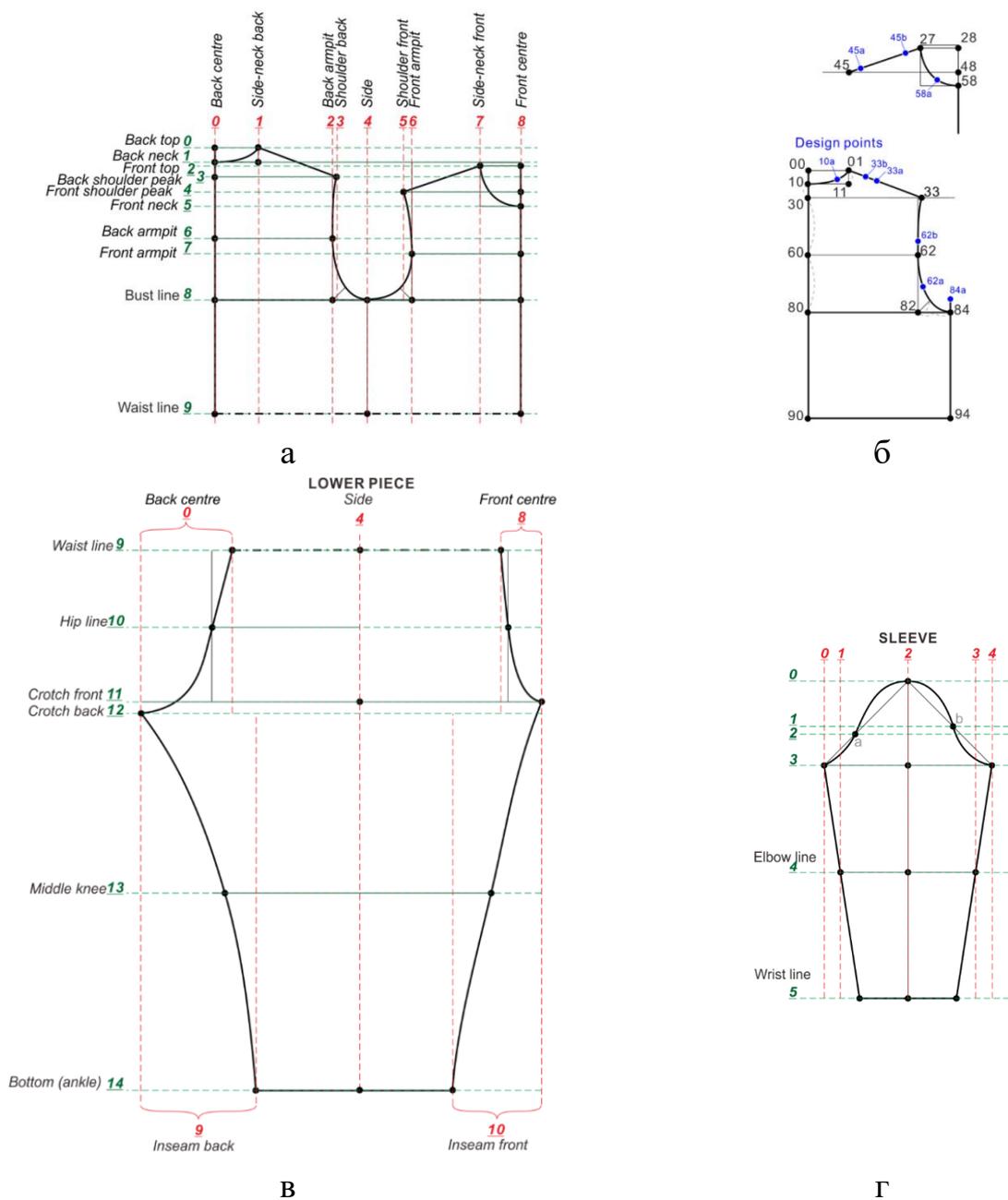


Рисунок 5.2– Чертежи фрагментов базовой конструкции полноростовой одежды: а – верхняя часть; б – пример нумерации вспомогательных точек; в – нижняя часть; г – рукав

Необходимые расчеты делали по формулам, приведенным в книгах по конструированию одежды [5, 39, 152] (рис. 5.3). Алгоритм построения чертежа базовой конструкции приведен в Приложении Г, Таблица Г.1...6.

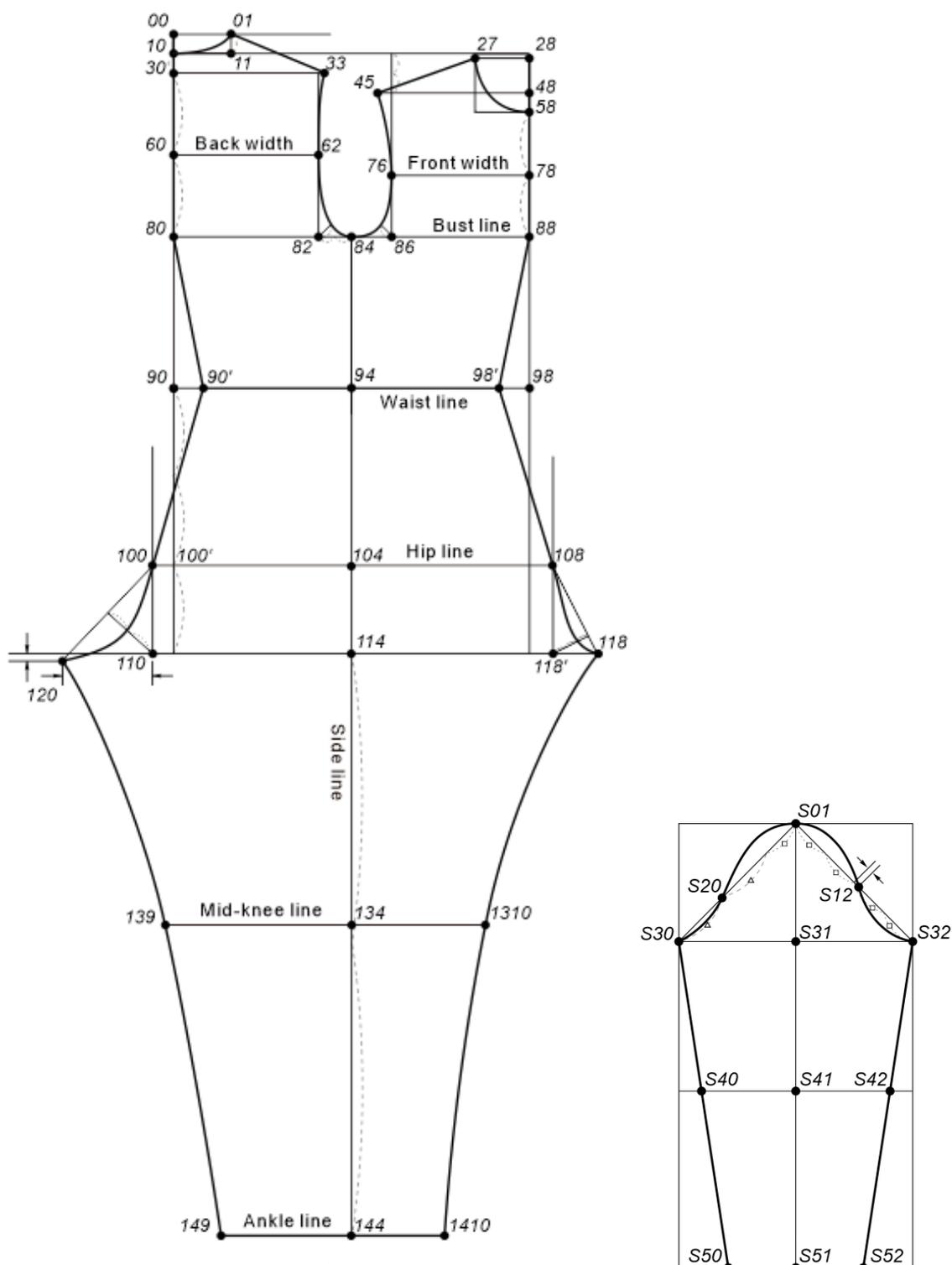


Рисунок 5.3 –Чертеж базовой конструкции полуприлегающей одежды

5.1.2. Чертеж базовой конструкции гидрокостюма

Взяв в качестве примера ткань M2 и фигуру с телосложением A1 со средними измеренными антропометрическими данными, они были применены к исходному прототипу для его модификации для получения базовой конструкции гидрокостюма. На рис. 5.4 показан схема чертежа гидрокостюма базового типа (черная линия), основанный на исходном прототипе. Линия сгиба спереди - прямая от низшей точки горловины до точки промежности.

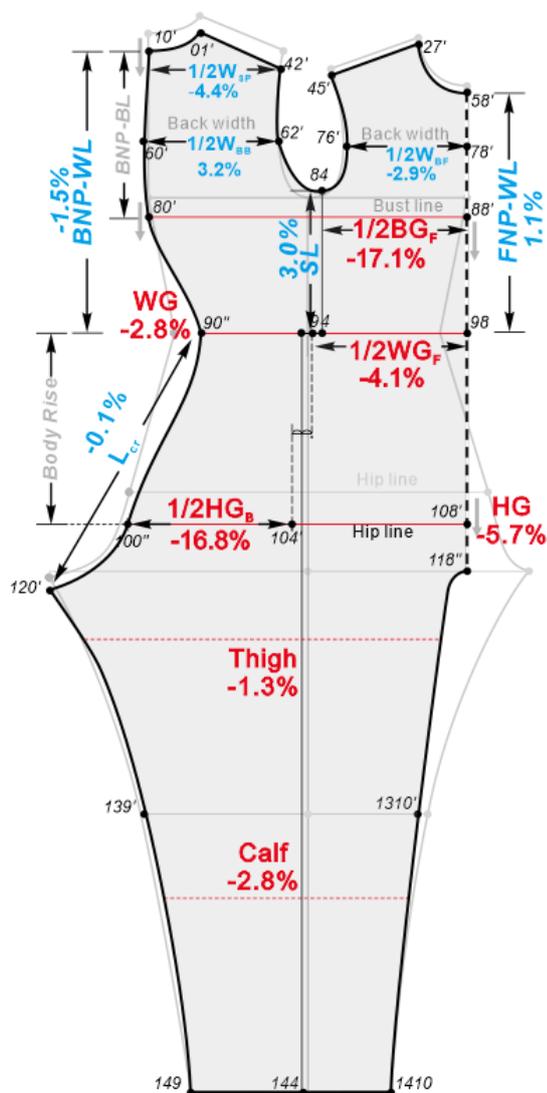


Figure 5.4 –Схема чертежа базовой конструкции гидрокостюма на основе исходного прототипа

Для построения чертежа базовой конструкции гидрокостюма использовали следующие исходные данные:

1) для расчета длин на уровнях обхватов груди, талии, бедер и т. д. использовали минимальную прибавку с учетом динамических изменений $E_{\min} = RC_m \cdot \Delta G_{DIF}$ (таблица 3.6), исходя из результатов ΔG_{DIF} (таблицы 2.4 и 2.5) и результатов RC_m (таблица 3.5). Например, для материала M2 сначала выбирали минимальное значение E_{\min} для типа фигуры A1 (-2,8% по талии WG и -5,7% по бедрам HG); затем далее определяли величину прибавки для участков чертежа для передней и задней частей: -17,1%, для BG_F , -4,1% для WG_F и -16,8% для HG_B . Величины прибавок показаны на рис.5.4;

2) ширины и длины корректировали в соответствии со значением продольного измерения, укорачивая длину верхней части, например, положение BL, HL для типа тела A1. Затем регулировали ΔL_{DIF} (таблица 2.5), чтобы сохранить определенную подвижность гидрокостюма. Поэтому с учетом динамической деформации верхней части туловища прибавляли по 1/10 от SL (3,0%), FNP-WL (1,1%), BNP-WL (-1,5%), W_{BB} (-3,2%), W_{BF} (-2,9%) и W_{SP} (-4,4%);

3) затем проектировали прибавки E для всех обхватов в соответствии с горизонтальной деформацией материалов и максимальным удлинением материала E_{\max} на семи обхватах тела (например, на уровне обхвата груди $\geq -16,7\%$, талии $\geq -15,0\%$, бедра $\geq -17,5\%$).

5.2.Разработка цифровой реплики

5.2.1.Моделирование важных частей туловища

На следующем этапе выполнили компьютерное моделирование и виртуальную примерку гидрокостюма в программах CLO 3D и 3ds Max. Блок-схема основных этапов моделирования показана на рис. 5.5.

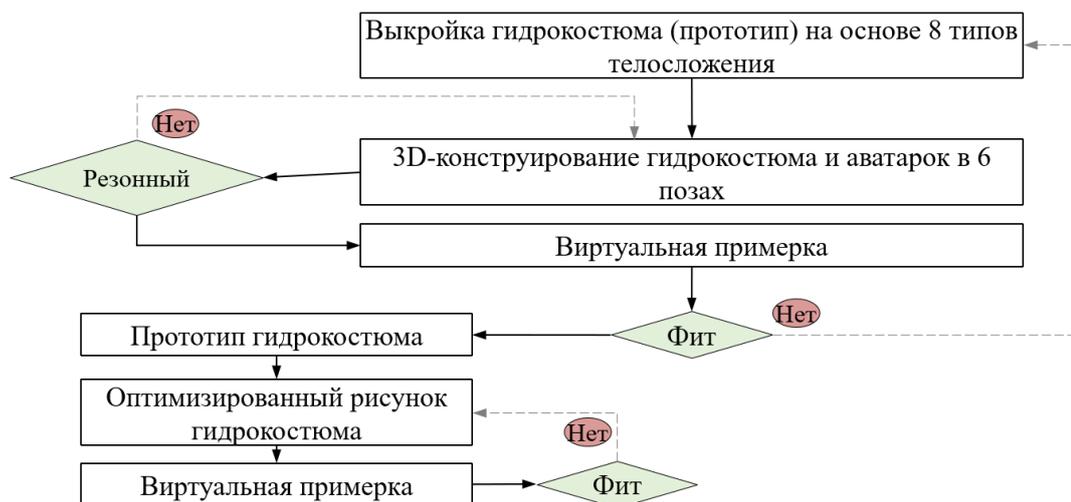


Рисунок 5.5 – Блок-схема процесса компьютерного моделирования гидрокостюма

Этапы моделирования:

- 1) Сканирование фигуры, получение сканатара и определение подтипа фигуры (согласно разд.2).
- 2) Создание виртуальных двойников фигуры и гидрокостюма,
 - выбор аватара фигуры из библиотеки CLO3D и его модификация под размеры сканатара;
 - импорт аватара фигуры в 3ds Max и создание деформированного аватара (DR) с учетом новых размеров и различных положений;
 - корректировка тех обхватов DR, которые изменяются в новом положении тела;
 - корректировка контура аватара в сагиттальной плоскости в соответствии с изменением угла наклона туловища при движении.
- 3) Изменение размеров сканатара и построение 2D-конструкции гидрокостюма в соответствии с динамическими измерениями тела.
- 4) Проведение виртуальной примерки гидрокостюма на основе изучения посадки, компрессионного давления и растяжения материала.

5.2.2. Генерирование разверток гидрокостюма

Использовали программное обеспечение ET CAD (BUYI Technology, Китай) и программное обеспечение CLO 3D для создания виртуального исходного «прототипа» аватара и базовой конструкции гидрокостюма. Сначала проверяли рациональность конструктивных линий, а затем сравнивали их влияние на показатели гидрокостюма.

Для оценки посадки виртуального двойника гидрокостюма выполняли следующие действия:

1) импорт 2D чертежей гидрокостюма из программы ET CAD в программу CLO;

2) применение двух инструментов - «посадка» для закрепления гидрокостюма на аватаре и «сшивание» для сшивания частей гидрокостюма и виртуальной примерки;

3) деформирование виртуального аватара в DR в соответствии с типом фигуры, эргономической позой, показателями свойств материала с отображением компрессионного давления и растяжения материала.

Для проведения эксперимента был выбран материал M2 (удлинение при 500 сН/см составляет 30,2% поперек петельных столбиков материала, максимальная усадка по ширине 3%). Из-за особенностей многослойного материала M2 его нельзя напрямую импортировать в CLO поэтому для моделирования выбрали цифровой двойник по умолчанию - «эластичный трикотажный материал», толщиной 3 мм со следующими показателями свойств: “Physical Property”: “Preset” - Knit_Jersey, “Density” - 400 сН/м²; “Simulation Properties”: “Shrinkage warp” 97 % и “Shrinkage weft” 100% (initial value); “Surface” – “Skin Offset” 0.1 мм.

На рис. 5.6 и 5.7 показана примерка двух конструкций из одного и того же материала на аватаре с размерными признаками типа A1 - BG= 84,2 см, WG = 65,5 см, и HG = 89,8 см для оценки виртуального двойника и

рациональности конструкции. Виртуальная шкала давления показана на рис.5.8 (Приложение Г, Таблица Г.7).

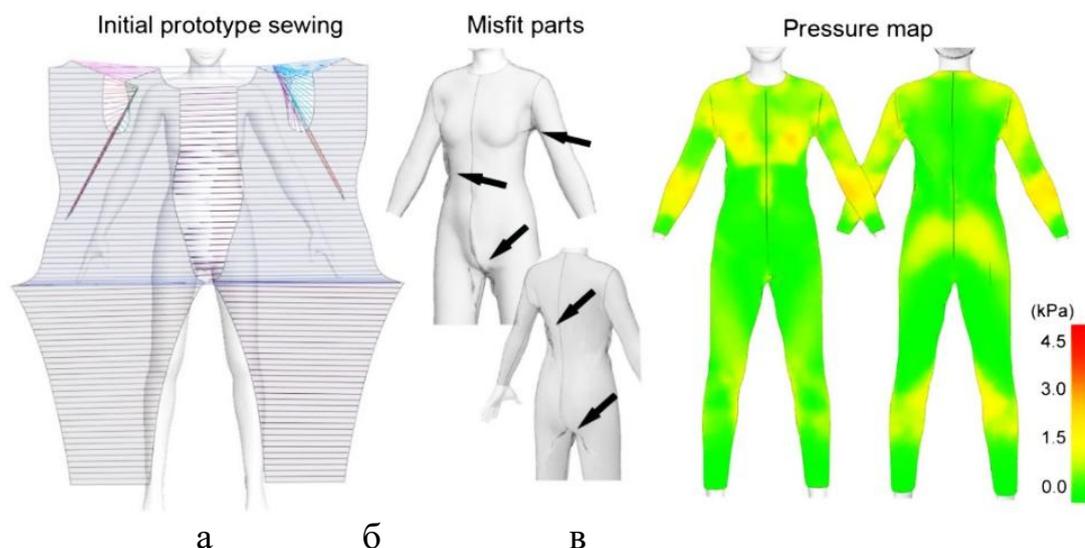
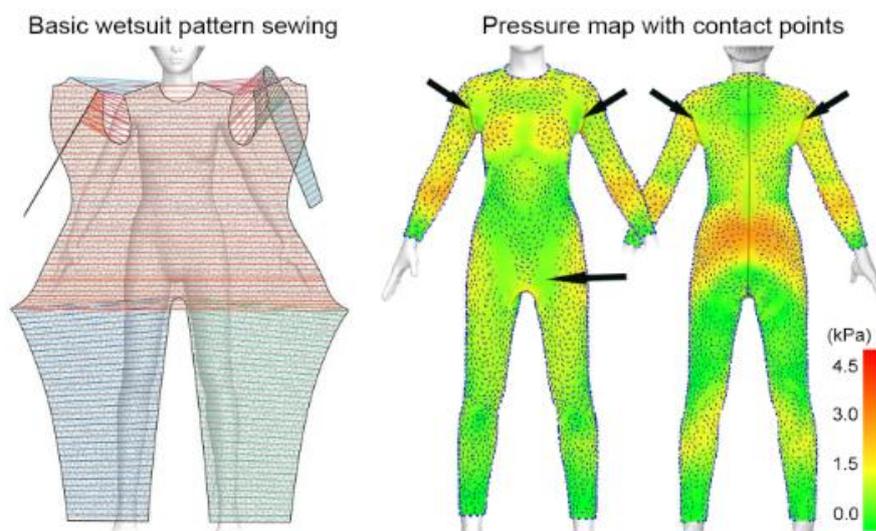


Рисунок 5.6– Примерка гидрокостюма на начальном недеформированном аватаре: а – виртуальное соединение деталей прототипа гидрокостюма; б – участки с плохой посадкой, в –распределение компрессионного давления

Из рис. 5.6 б видно, что на участках с недостаточным прилеганием, указанными стрелками, возникают складки в областях проймы, обхвата талии, на спине и в области ягодиц, т.е. гидрокостюм плохо сидит на фигуре, возникает слабина материала. Из карты давления и измеренных значений (рис. 5.6 в) видно, что значение давления в большинстве частей исходного прототипа недостаточное (среднее значение менее 1.0 кПа), давление на поверхности аватара значительно изменяется. Это означает, что одежда не соответствует фигуре, неплотно прилегает к телу. Поэтому необходимо доработать некоторые детали первоначального прототипа в соответствии с заданными требованиями к гидрокостюму.

На рис.5.7 показана примерка базовой конструкции гидрокостюма и карта распределения давления.



аб

Рисунок 5.7–Виртуальная примерка базового гидрокостюма (рис. 5.4): а – виртуальное соединение деталей гидрокостюма базового типа; б – примерка в CLO

Из рис.5.7 видно, что число областей со складками уменьшилось, а давление распределяется по поверхности аватара более равномерно, что посадка гидрокостюма стала лучше, чем раньше.

На рис.5.8 показаны значения давления в разных сегментах аватара.

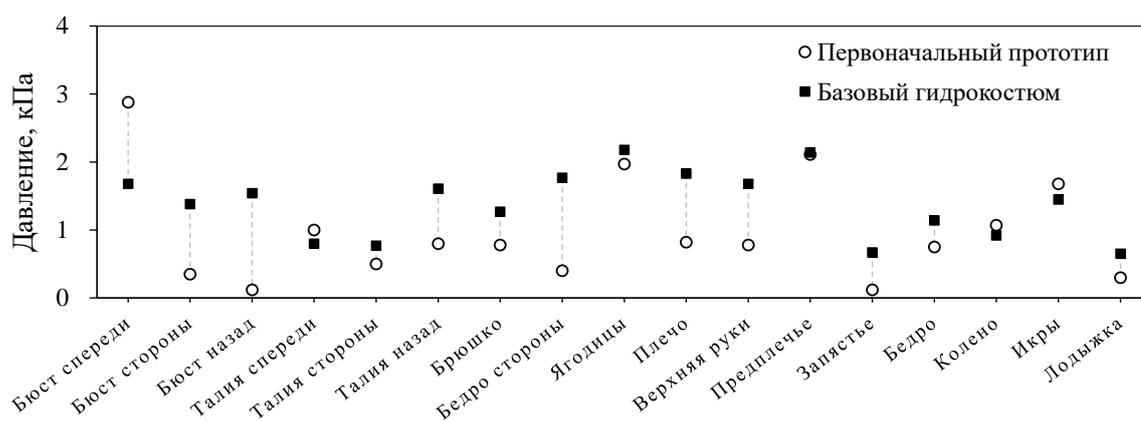


Рисунок 5.8 –Результаты измерения виртуального давления

После обработки результатов получены следующие значения компрессионного давления:

вид гидрокостюма	интервал значений давления, кПа	среднее значение, кПа	коэффициент вариации
начальный прототип	0,12...2,88	0,97	0,77
базовая конструкция	0,65...2,18	1,38	0,49

Значения давления увеличиваются, а значение давления в пределах каждой из деталей становится более равномерным. «Точки давления», создаваемые в CLO3D на гидрокостюме, можно рассматривать как области контакта гидрокостюма с поверхностью тела. Тем не менее из-за особенностей фигуры и недостатков базовой конструкции гидрокостюма в областях проймы, обхвата талии сзади и области паха спереди материал одежды неплотно прилегает к поверхности тела. Следовательно, базовая конструкция гидрокостюма должна быть усовершенствована.

5.3.Совершенствование базовой конструкции гидрокостюма

Чтобы обосновать расположение и конфигурацию линий членения, использовали следующие подходы к оптимизации конструкции:1) расположение линий выбрали в соответствии с морфологией человеческого тела,2) изменяли расположение и кривизну линий членения деталей по показателям возникающего давления и деформации материала в виртуальной трехмерной среде, 3)стремились уменьшить количество швов, чтобы обеспечить оптимальное представление конструкции и завершить предварительный процесс проектирования в виртуальной среде.

Метод «пошагового проектирования» применяли в заданной области допустимых значений компрессионного давления для поиска и проверки «наилучшего» расположения линий членения, которые соответствуют динамическим и статическим изменениям системы «аватар - гидрокостюм». Пошагово обосновывали:

- шаг 1: линию реглана,
- шаг 2: боковую линию,
- шаг 3: линии членения двухшовного рукава вместо одношовного,
- шаг 4: дополнительные членения в паховой области,
- шаг 5: другие линии членения.

5.3.1. Совершенствование и верификация конструкции рукава

В конструкции гидрокостюма обычно используют покрой рукава реглан, что упрощает конструкцию в области проймы, снижает трудности при соединении деталей, уменьшает вероятность разрыва шва и материала во время ныряния.

Шаг 1: Были выбраны основные репрезентативные контрольные точки, такие как плечевая точка (SP), сосковая точка (BP) и две боковые точки (точки *a* и *b* в главе 2). Эти антропометрические точки легко найти на аватаре. В качестве критериев для выбора конфигурации линии реглана использовали: 1) минимальную относительную разность значений давления одежды в виртуальной среде для двух положений тела: в статическом положении стоя и с поднятыми вверх руками, отображая карты давления в реальном времени в трехмерной виртуальной среде; 2) качество посадки.

Наиболее подходящее решение линии реглана определяли по разности давлений гидрокостюма ΔP при поднятых и опущенных руках.

Относительную разность давлений рассчитывали по формуле

$$\Delta P = 100 (P_u - P_d) / P_d, \quad (5.1)$$

где ΔP – относительная разность, %; P_u – величина давления с поднятыми руками, кПа; P_d – значение давления с опущенными руками, кПа.

На рис. 5.9а показано расположение линии реглана относительно мышц шеи и грудных желез.

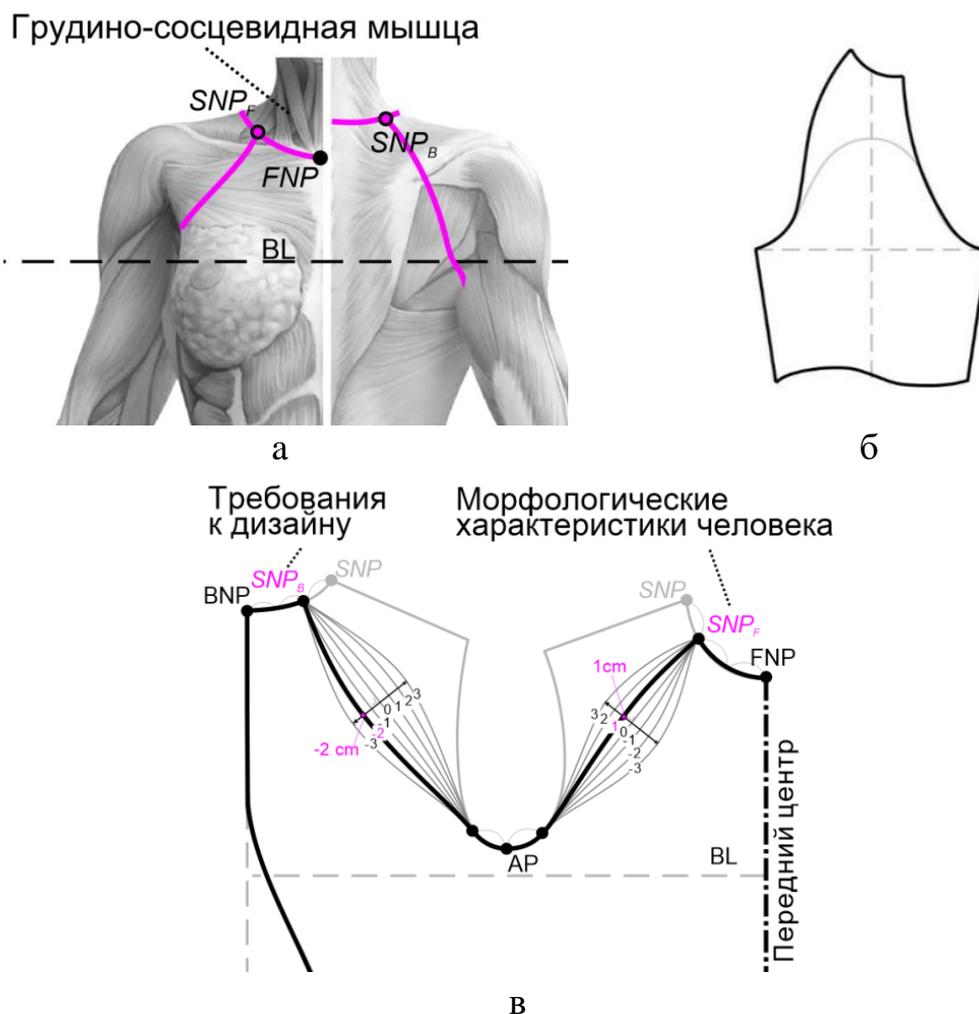


Рисунок 5.9 –Схемы проектирования линии реглана: а –положение линии реглана на фигуре спереди (слева) и сзади (справа); б – схема чертежа наилучшего рукава; в–варианты исследованных конфигураций линий реглана

Допустимый изгиб линии реглана находятся в пределах (-3...3 см). Передняя часть туловища взята в качестве примера, чтобы проиллюстрировать, как прямая линия (обозначенная как «начальная линия» 0) от SNP_F до подмышечной впадины трансформируется в различные выпуклые и вогнутые кривые, которые были обозначены на рис.5.13 а последовательно как 1, 2 и 3. Вогнутые кривые помечены как -1, -2 и -3. Таким образом, на передне и спинке было оформлено по семь линий. Общее количество вариантов линий реглана передне и спинки составило $C_7^1 * C_7^1 = 49$ с различным прогибом от -3 до 3 см. В табл. 5.1 показаны варианты комбинаций линий.

Таблица 5.1 – Номер варианта

Прогиб линии реглана на спинке, см	Номер варианта виртуального костюма для прогиба линии реглана на полочке, см						
	-3	-2	-1	0	1	2	3
-3	#1	#8	#15	#22	#29	#36	#43
-2	#2	#9	#16	#23	#30	#37	#44
-1	#3	#10	#17	#24	#31	#38	#45
0	#4	#11	#18	#25	#32	#39	#46
1	#5	#12	#19	#26	#33	#40	#47
2	#6	#13	#20	#27	#34	#41	#48
3	#7	#14	#21	#28	#35	#42	#49

Наилучшую комбинацию конфигурацию линий выбрали путем сравнения соответствующих значений давления и значений деформации виртуального материала. На рис. 5.10 показана сумма абсолютных значений разностей компрессионного ΔP для положений тела P1 и P2 в трех антропометрических точках.

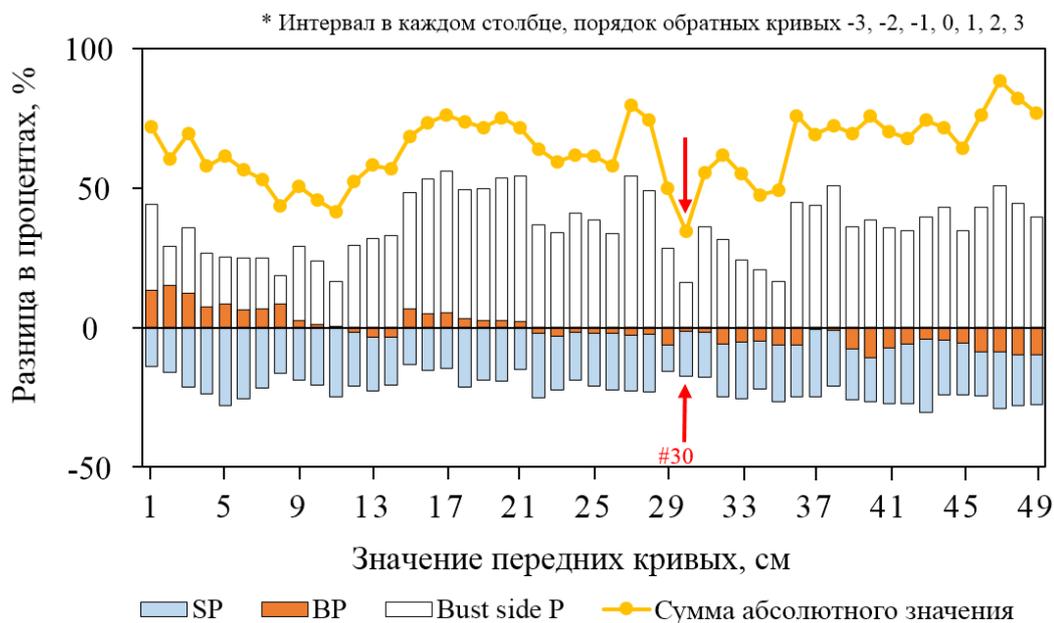


Рисунок 5.10 –Изменение давления для 49 конструкций рукавов

Если абсолютное значение является наименьшим, то это означает, что и соответствующее ΔP для статики и динамики будет наименьшим, а расположение линии реглана максимально улучшит динамическую посадку в области плечевого пояса. Такую конфигурацию линии реглана считали наилучшей.

Существенное влияние в различиях оформления этих линий сосредоточено на боковой части. Установлено, что сумма абсолютных значений для конструкции №30 (прогиб спереди 1 см, а сзади -2 см), отмеченных на рисунке, составляет 34,7%. Это наименьшее значение из всех конструкций (около SP составляет -17,3%, около BP составляет -1,3%, а сбоку 16,2%). В то же время обнаружено, что в большинстве других конструкций ΔP превышает 50%.

На основе цифровых копий оптимизированный дизайн рукава был проверен с помощью виртуального теста, и оптимизированная конфигурация рукава реглан может обеспечить разумное динамическое давление. Рукав реглан в дизайне гидрокостюма, очевидно, может улучшить посадку в области плеч. Поэтому конструкция рукава реглан №30 является лучшей среди возможных.

Для оценки рациональности выбранных линий реглана была проведена виртуальная примерка на цифровых двойниках фигур. Примерку выполнили для трех положений тела P1, P2 и P3. На рис. 5.11 показаны выкройки гидрокостюмов, статически стоящие аватары и аватары с поднятыми руками, исходный и деформированный аватары ДР, а также результаты виртуальной примерки.

На рис. 5.11 слева показаны виртуальные двойники фигур после их изменения для получения деформированных реплик (DR) на основе реальных статических и динамических данных. Таким образом, DR из положения P1 переходит в положения P2 и P3. Значения конструктивных прибавок вычисляли согласно динамическим изменениям размеров фрагментов фигуры и показателям деформационных свойств материала.

На рис. 5.11 в центре в качестве примеров показаны выкройки гидрокостюмов из материала M2 для типов телосложения A1 и B1. Использовали данные из таблицы 2.5 и Приложения Б, таблица Б.6. Метод построения чертежа соответствует этапам, описанным в подразделе 5.1.2 на рис. 5.4. Чертежи с E_{\min} и E_{\max} показаны черной и синей пунктирной линиями соответственно.

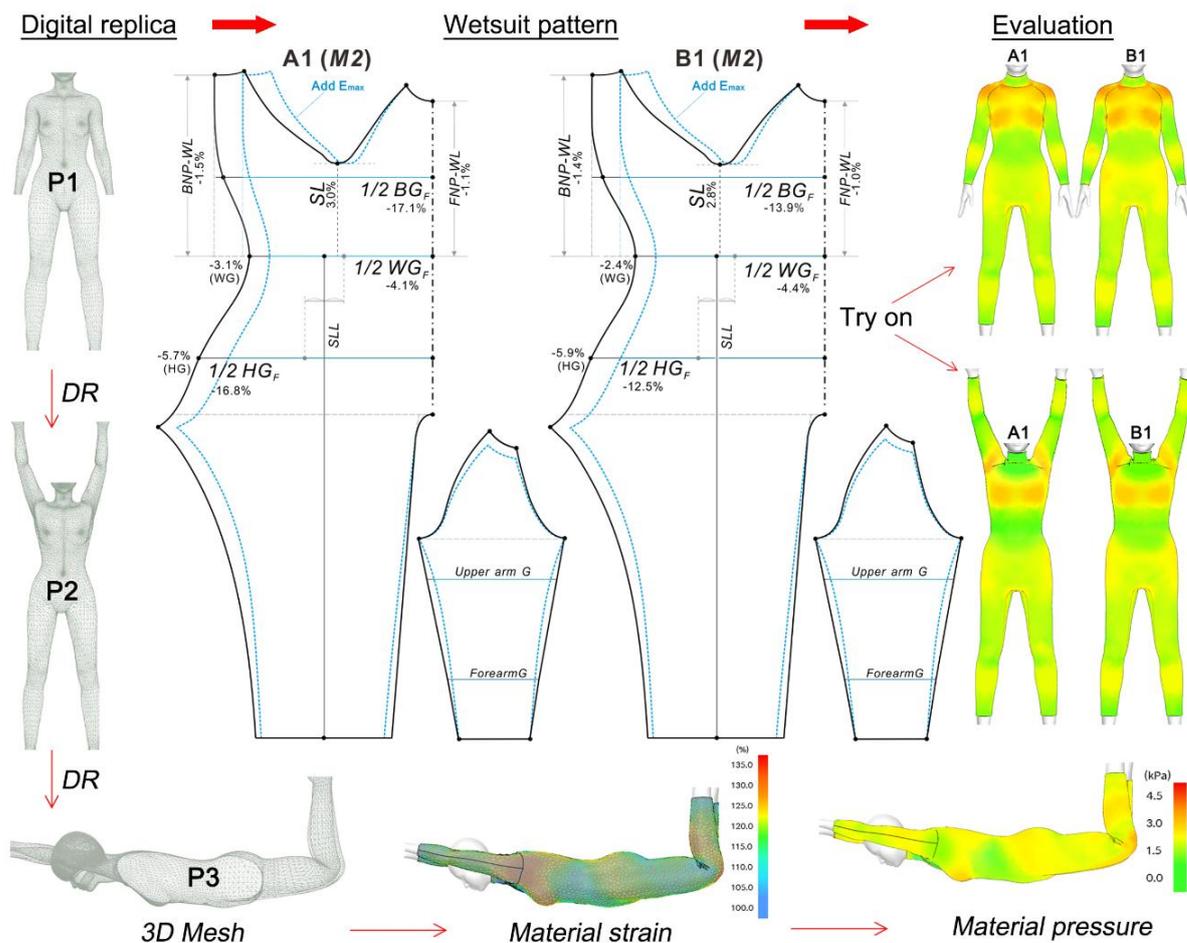


Рисунок 5.11 –Этапы проектирования виртуальных двойников фигур и виртуальной примерки в программе CLO3D

Из цветовой карты давления материала видно, что усовершенствованные гидрокостюмы для обоих типов телосложения имеют хорошие характеристики: гидрокостюмы облегают аватар без складок в статических и динамических условиях, а значения и распределения давления приемлемы (в

соответствии с требованиями реальной ситуации). Кроме того, изменения давления относительно стабильны и существенно не меняются в позе Р3.

В чертеже учтены новые антропометрические данные, показатели свойств материала, отрицательная прибавка и для получения необходимого компрессионного давления. Оценка посадки выполнена в трех основных позах Р1, Р2 и Р3. Результаты виртуальной примерки показывают, что конструкцию гидрокостюма усовершенствовали.

5.3.2. Экспериментальная проверка других улучшений конструкции

Шаг 2: Исследовали возможность усовершенствования деталей ластовицы для улучшения прилегания на руках, талии, груди и бедрах и направление раскроя материала (рис.5.12).

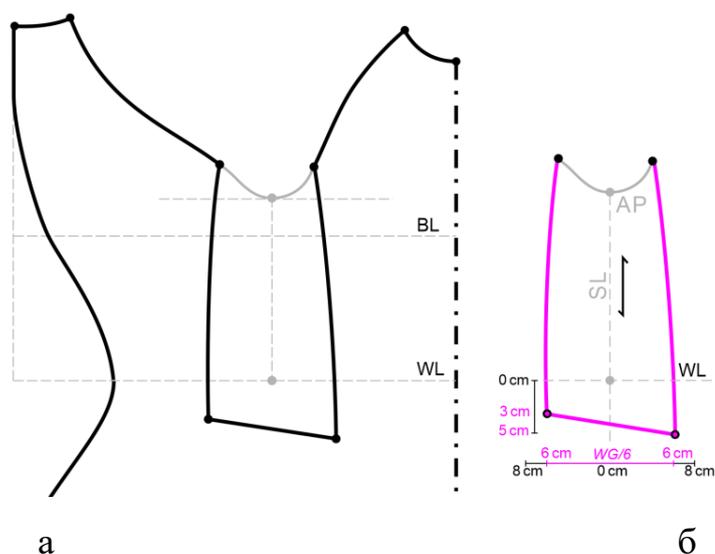


Рисунок 5.12 – Расположение и допустимые конфигурации формы боковой детали гидрокостюма

Чтобы найти наиболее подходящую форму детали, через точку пересечения линий SL и WL проводили горизонтальную линию, затем изменяли ширину отрезного бочка. Значения WG женской фигуры в базе данных имеют наибольший относительный разброс (WG 56,2...79,5 см),

поэтому мы рекомендуем использовать WG в качестве параметра для расчета ширины нижней части отрезного бочка для упрощения расчетов.

На рис. 5.16 а показано основание ластовицы с шириной 12 см (например, для подтипа А1), которая находится ниже WL . Эта ширина составляет примерно $WG / 5$ для каждого типа фигуры (например, $WG = 63,0$ см, ширина основания отрезного бочка 12,6 см). Согласно результатам, приведенным в Приложении Г, таблица Г.10, наилучшее расположение вершин основания - ниже WL на 3 см и на 5 см. Направление раскроя ластовицы - вертикальное.

Соединение ластовицы с рукавом является одним из видов дизайна, но оно редко встречается в гидрокостюмах (см. рис. 1.14), что приводит к разрушению материала одежды или шва в подмышечной впадине. Следовательно, эту деталь необходимо дополнительно усовершенствовать, чтобы изменить традиционную форму проймы.

На рис.5.13а показано, что длина верхней части ластовицы «h» принимает переменные значения, а ее криволинейные участки «а» и «b» связаны с частью рукава. В зависимости от ширины плечевого ската женщины (в среднем 30,1 см) рекомендуемое значение «h» составляет от 1/4 до 1/2 (7...15 см) и изменялись в эксперименте с шагом 2 см. Результаты (Приложение Г, таблица Г.11) показывают, что при $h = 15$ см получены наилучшие характеристики конструкции. Видно, что оптимизированная ластовица (рис. 5.13 б и в) улучшает посадку в подмышечной впадине, снижает сложность пошива и имеет низкую деформацию материала при поднятии рук.

На рис. 5.14 а фиолетовым и зеленым цветом показаны горизонтальные линии членения передней части гидрокостюма за счет кокетки с центральной вставкой. Из-за физиологических особенностей женщины передняя верхняя часть бюста должна быть плотно сжата гидрокостюмом для уменьшения скопления воды. Такое решение снижает влияние движений рук и шеи на поддержание формы. Дополнительный шов притачивания кокетки находится

выше линии обхвата груди ВL и может быть приподнят вдоль средней линии переда на 1...5 см. Дополнительный изгиб центральной вставки в области обхвата талии находится ниже WL и опускается на 1...8 см вдоль средней линии переда. При сравнении рис.5.14 б и в видно, что посадка в зонах верхней части груди и в области живота улучшилась. Результаты экспериментов (Приложение Г, таблица Г.13) показывают, что лучшим конструктивным решением являются горизонтальные линии членения в виде кривых на 3 см выше ВL и 8 см ниже WL с точки зрения внешнего вида и объективного измерения.

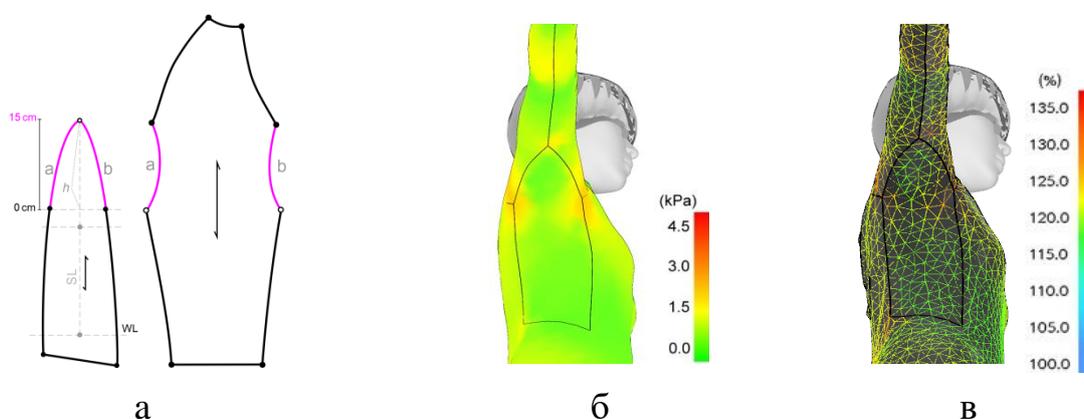


Рисунок 5.13 – Проверка конфигурации ластовицы: а – схема чертежа; б – карта давления; в - карта деформации материала

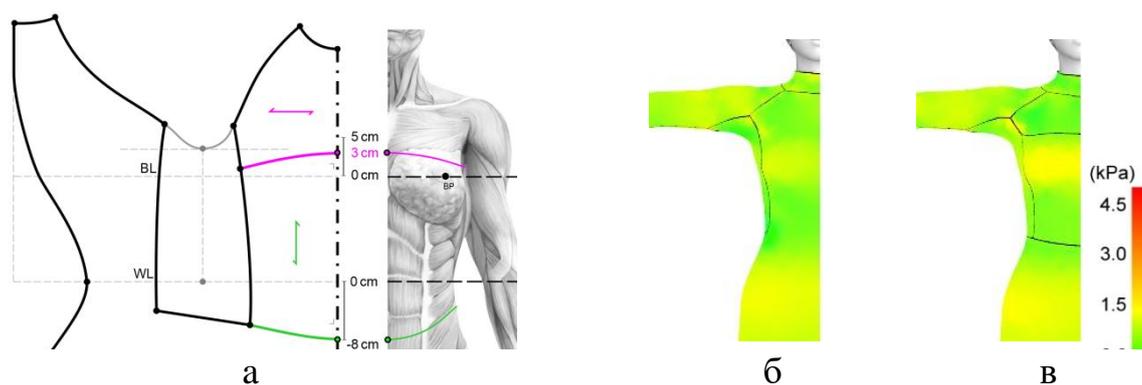


Рисунок 5.14 – Схема чертежа передней части гидрокостюма: а – расположение кокетки и центральной части на чертеже и фигуре; б, в – виртуальная примерка гидрокостюма без кокетки и с кокеткой

Кроме того, мы также экспериментировали с конструкцией рукавов, состоящего из одной и двух частей (Приложение Г, Рисунок Г.2 и Таблица Г.12). По сравнению с одношовным рукавом, значение давления под рукавом из двух частей ниже. Поэтому для уменьшения количества швов в конструкции использовали одношовный рукав.

На последнем этапе исследовали задний участок линии талии и линию плеча (Приложение Г, Рисунок Г.3). Согласно опыту производства на фабрике, расширенную ластовицу используют для создания удобной посадки в паховой области, повышения водонепроницаемости, комфорта и долговечности, снижения вероятности разрыва материала гидрокостюма (Приложение Г, Рисунок Г.4). Чертежи деталей усовершенствованной конструкции гидрокостюма показаны на рис. 5.15.

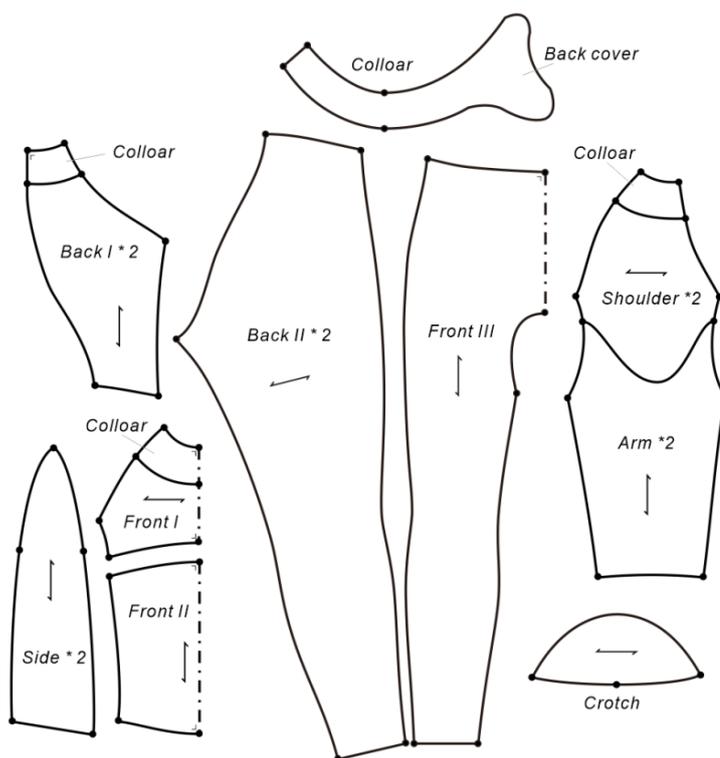


Рисунок 5.15 – Детали усовершенствованной конструкции гидрокостюма

На рис. 5.16 показана виртуальная примерка в шести положениях тела. Другие положения, возникающие при плавании под водой, показаны в Приложении Г, рисунок Г.11.

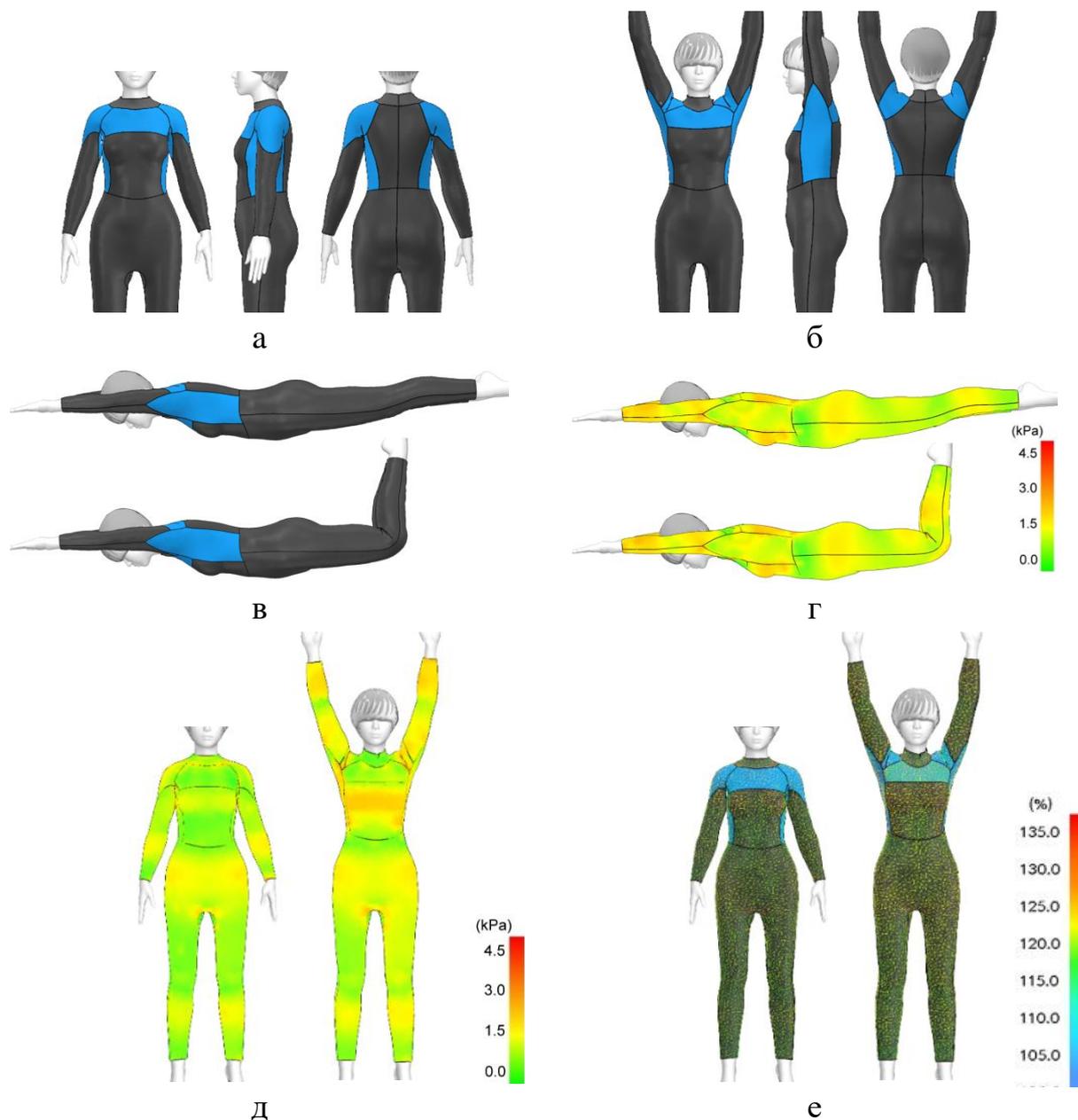


Рисунок 5.16 – Моделирование разработанного гидрокостюма в разных позах: а – P1; б – P2; в – P3, P4 (P5, P6); г, д – карты давления (P1, P2); е – сеточные карты деформации материала (P1, P2)

Спроектированные гидрокостюмы, проверенные в виртуальной среде, могут обеспечить приемлемое давление в динамике и, очевидно, улучшить характеристики посадки. Разумное изменение давления и деформация материала «карты давления / деформации» CLO в динамике и статике показывают, что разработанная конструкция является рациональной. Виртуальные результаты помогут дизайнерам гидрокостюмов быстро

модифицировать, оценивать и исключать фактические повторяющиеся производственные работы для оптимизации конструкции, повышения производительности и дальнейшего улучшения качества при эксплуатации.

5.4. Практическая оценка разработанной конструкции

5.4.1. Сравнение с существующими моделями-аналогами

Для тестирования гидрокостюмов были отобраны три молодые китайские женщины с подтипами фигур Y1, A1 и B1 по разработанной в Главе 2 группировке. Подробные данные о размерных признаках добровольцев приведены в Приложении Г, таблица Г.14.

Были отобраны пять гидрокостюмов массового производства трех популярных стилей обычной структуры, продаваемых швейной компанией JINMING (Ухань, Китай) из материала M2, толщиной 3 мм, размеров (по торговой группировке S - малый, M - средний, L - большой). Гидрокостюмы массового производства обозначили как PW1-S, PW2-S, PW3-S, PW1-M и PW1-L (рис. 5.17 а и б). Используя ту же ткань и технологию склеивания, три костюма были изготовлены для трех добровольцев, что примерно соответствует полнотам: Y1 - малая, A1 - средняя, B1 - большая. Их обозначили как DW-Y1, DW-A1 и DW-B1. Для изготовления DW (дизайн гидрокостюма) на основе нового метода были выбраны два вида материалов M2 и M3.

На рис. 5.17 и 5.18 показана примерка материальных костюмов в статическом положении стоя (примерка в динамических позах показана в Приложении Г, рисунки Г.5...10). Рис. 5.17 в показывает, что PW плохо прилегает, особенно в плече, руке и промежности, но DW подходит хорошо. Рисунок 5.18 показывает, что DW из двух материалов имеет хорошую посадку и обеспечивает необходимую свободу движений (Приложение Г, рисунок Г.11).



Рисунок 5.17 – Внешний вид существующих гидрокостюмов фабричного производства PW (а – на фигуре Y1; б – на фигурах A1 и B1) и внешний вид проблемных участков на существующем PW и разработанном костюме DW (B)



Рисунок 5.18 – Внешний вид новых гидрокостюмов: а – для фигуры Y1 из материала M2; б – для фигуры Y1 из материала M3

Из рис.5.18 видно, что традиционные гидрокостюмы обычных размеров имеют плохую посадку в положении стоя; одинаковые дефекты конструкции выявили в одних и тех же местах для всех трех фигур. Избыточная прибавка существует в области проймы, обхвата бедер и области паха. При поднятии рук материал растягивается сбоку в области талии и под рукой, что влияет на свободу движений при поднятии рук.

Экспертную оценку проводили в статике и динамике в соответствии с 7-уровневой шкалой Лайкерта, включающей установленное количество ответов, которые испытуемый мог выбрать:

1 - очень сильно неудовлетворен (материал провисает, очень расслаблен, не облегает фигуру или присутствуют другие неудобные ощущения, например, чувство сильного сдавливания или ограничения движений),

2 - крайне неудовлетворен (материал одежды сильно расслаблен, плохо облегает фигуру или другое неприятное чувство; чувство сдавливания и ограничения движений),

3 - неудовлетворен (материал одежды расслаблен, ощущение плохого облегания или другое неприятное чувство; чувство сдавливания участков фигуры и ограничения движений),

4 - частично удовлетворен (материал облегает фигуру, но можно лучше; можно выполнять некоторые движения со средней амплитудой),

5 - доволен (облегает фигуру, но можно чуть потуже; можно выполнять большинство движений со средней амплитудой),

6 - вполне доволен (ощущение плотного и комфортного давления; легко выполнять большинство движений с большой амплитудой),

7 - очень доволен (очень плотное прилегание, очень комфортное давление; легко выполнять все виды движений с большой амплитудой).

Чувства дискомфорта и комфорта, которые испытывает испытуемый, вызваны слабым и сильным давлением, производимым гидрокостюмом. Ощущение дискомфорта также возникает из-за несоответствий, вызванных

дефектами конструкции. Чувствительность к давлению и оценка комфортности являются субъективными, а также зависят от участка фигуры, поэтому результаты опроса различались при такой небольшой выборке. Результаты субъективной оценки гидрокостюмов в статике и динамике показаны на рис. 5.19 и 5.20.

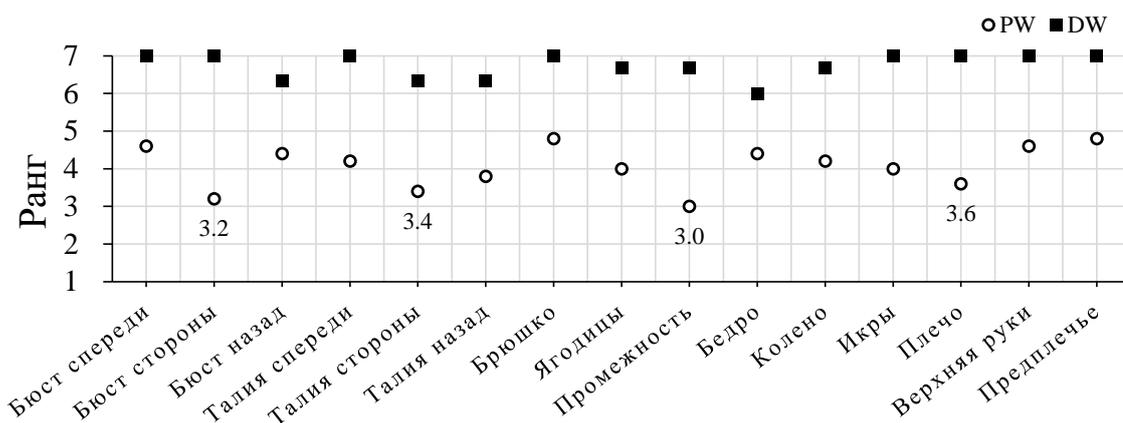


Рисунок 5.19 – Результаты субъективной оценки в статике

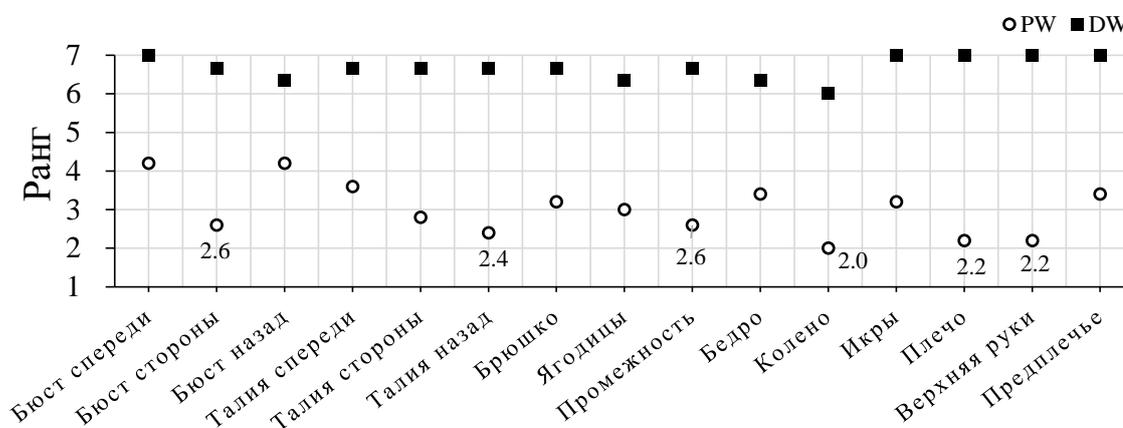


Рисунок 5.20 – Результаты субъективной оценки в динамике

Результаты субъективной оценки в статике и динамике в положении с поднятыми руками показывают, что более низкий рейтинг удовлетворенности был отмечен (в среднем 4,1 в статике и 3,0 в динамике) для PW в области колена (приседание), обхвата груди, обхвата талии, на спине, в плечевом поясе. Средняя оценка для DW составила 6,7 в статике и динамике. Положительная оценка означает, что комфортность гидрокостюма

значительно выше, чем рейтинг PW, и находится между 6 "доволен" и 7 "очень доволен".

Результаты объективной оценки, полученной при измерении давления, представлены на рис. 5.21.

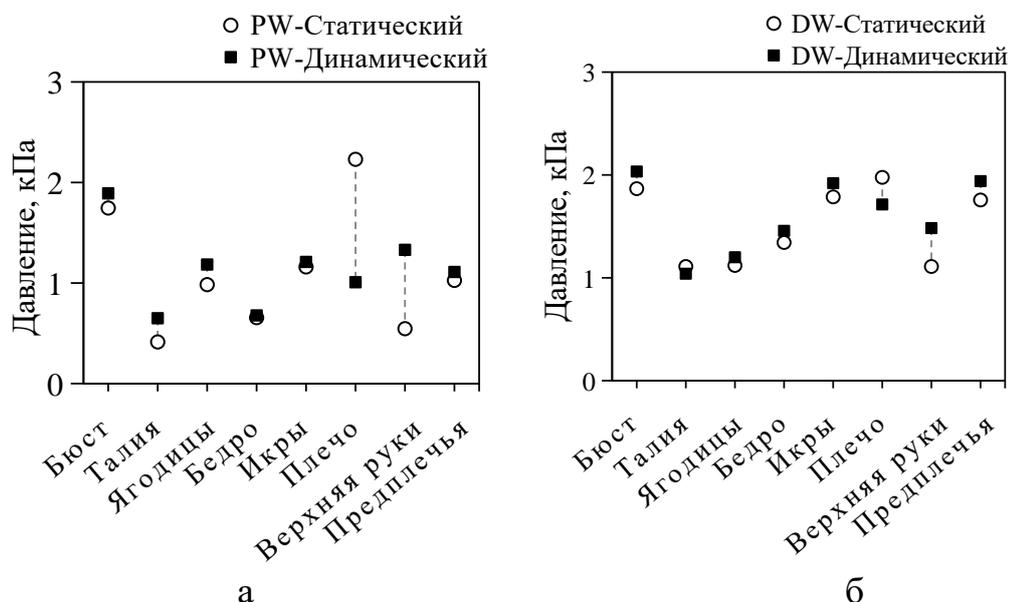


Рисунок 5.21 – Результаты измерений давления на тело: а – гидрокостюмы промышленного производства PW; б – разработанный гидрокостюм

Результаты объективной оценки измерения давления при поднятии рук в статике и динамике (в Приложении Г, Таблица Г.14) показывают, что значительная разница давления ΔP_{PW} для существующих гидрокостюмов присутствует в области плечевой точки: -54,8% (-1,22 кПа), вдоль обхвата плеча: 143,6% (0,78 кПа), вдоль обхвата талии: 57,0% (0,24 кПа). Для разработанного гидрокостюма диапазон ΔP_{DW} составляет всего -13,3...33,6% (при -0,26...0,37 кПа).

Таким образом, объективная (измерение давления) и субъективная (ощущение при носке) оценки показали, что существующий гидрокостюм не удовлетворяет требованиям потребителей. Разработанная конструкция DW устраняет динамическое изменение давления, оптимизирует важные

элементы конструкции: боковую часть, область плеча, рукав, паховую область, решает проблемы комфортности движений и функциональности при эксплуатации.

5.4.2. Тестирование под водой и оценка результатов

Подводное тестирование гидрокостюмов проводили в центре профессиональной подготовки по дайвингу "Ухань дайвинг-центр" (Ухань, Китай), который является официальным партнером «PADI® Dive Center». Для погружения в новом гидрокостюме DW выбрали акваланг из профессионального оборудования SCUBAPRO®. Два участника с фигурами Y1 и A1 участвовали в погружении.



а



б



в



г

Рисунок 5.22—Дайвинг эксперимент: а – внешний вид "Ухань дайвинг-центра"; б, в, г – дайвер с аквалангом в разных позах

Под руководством профессиональных инструкторов дайвер нырял, выполняя вольное плавание и ныряние и приседания. Максимальная глубина погружения составила 6 м. Результаты субъективной оценки, полученные путем опроса двух дайверов, показаны на рис. 5.23.

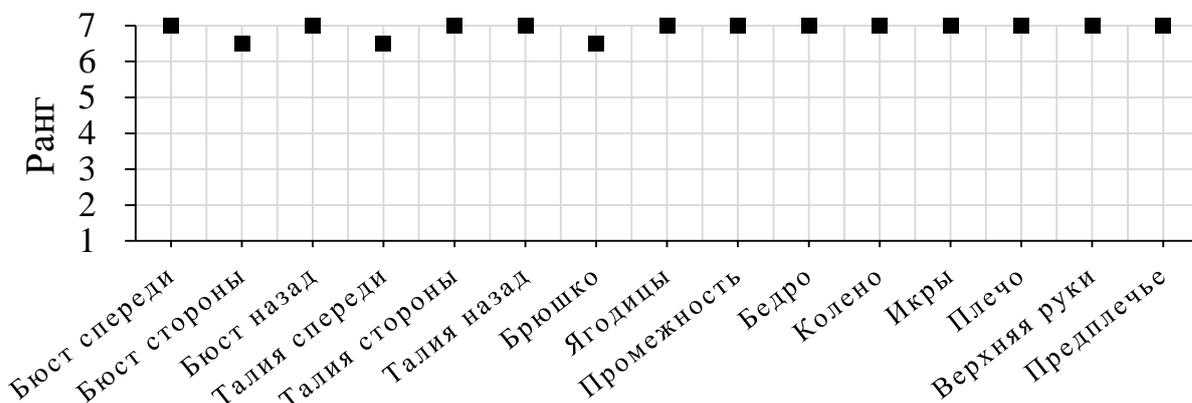


Рисунок 5.23 –Результаты субъективной оценки посадки гидрокостюмов DW во время испытаний под водой

Оба дайвера отметили, что у них не возникло никаких препятствий для движений под водой и испытали чувство хорошего облегания фигуры.

5.4.3. Проверка теоретических значений давления

Изготовленные гидрокостюмы использовали для проверки правильности теоретических выводов, сделанных ранее. Для костюма DW из материала M2 на фигурах новых типов Y1, A1 и B1 было измерено давление по схеме эксперимента, что и в Главе 3 на тех же семи частях тела. Среднее фактическое P_{\max} на семи частях тела составило 1,44 кПа в статике и 1,58 кПа в динамике. Параллельно P_{\max} рассчитывали по формулам (4.3) ... (4.7), приведенными в главе 4, с использованием разных показателей свойств материала M2.

В таблице 5.2 показано сравнение P_{\max} между рассчитанным и измеренным P_{\max} .

Таблица 5.2 – Разница рассчитанного и измеренного значений давления в костюме из материала М2

Уравнение	Показатель свойств материала М2	Расчетное \hat{P}_{\max} , кПа	Разница между теоретическим и фактическим давлением	
			абсолютная	относительная
			статика / динамика, кПа	статика / динамика, %
(4.3)	F15 _c	1,69	0,25 / 0,11	17,5 / 7,1
(4.4)	WT _c	1,20	0,26 / 0,12	17,8 / 7,4
(4.5)	WT _w	1,47	0,85 / 0,71	59,4 / 45,2
(4.6)	LT _w	2,33	0,72 / 0,28	50,2 / 36,9
(4.7)	2HG _w	2,15	0,80 / 0,66	55,5 / 41,7
<i>Средняя разность</i>			<i>0,58 / 0,44</i>	<i>40,1 / 27,7</i>

Из таблицы 5.2 видно, что наименьшая разность между теоретическим и фактическим значениями давлений составляет 7,1%.

После сравнения прогнозируемого давления с реальным измеренным давлением мы обнаружили, что средняя разность, рассчитанная по пяти уравнениям, составляет 0,44 кПа. Уравнение (4.3) имеет наименьшую погрешность 0,11 кПа в разных позах, поэтому уравнение $\hat{P}_{\max} = 0,86 + 2,45 / WT_w$ будет гарантировать получение максимального эффекта от нового костюма.

Заключение по главе 5

1. Предложен новый метод построения чертежей конструкции гидрокостюма для сохранения хорошей посадки в динамике. Виртуальная примерка и сравнение с экспериментальными данными измерения давления показывает, что разработанный способ построения чертежа гидрокостюма является рациональным и вариативным, а базовая конструкция хорошо соответствует фигурам разных типов.

2. Деформируемые цифровые двойники женской фигуры построены в виртуальной системе для проверки конструкции гидрокостюма и определения деформации материала и возникающего давления одежды. Цифровые двойники женских фигур, построенные на основе данных бодисканирования, удобны в использовании, являются достаточно точными для проектирования облегчающей компрессионной одежды.

3. На цифровых двойниках фигур все линии внутреннего членения гидрокостюма проверяли и обосновали в виртуальной среде, рассчитали прибавки, необходимые для свободы движений в пределах допустимой деформации материала гидрокостюма и получили усовершенствованный вид деталей гидрокостюма. Разработали новый рабочий процесс моделирования в виртуальной трехмерной среде, включающий этапы, предварительного проектирования и оценки качества посадки гидрокостюма.

4. Субъективную оценку качества посадки гидрокостюма в статике и динамике проводили по 7-уровневой шкале Лайкерта, DW получил более высокий рейтинг, чем коммерческие модели-аналоги гидрокостюмов.

5. Провели сравнительный анализ рассчитанных и измеренных значений давления одежды и показали возможность его прогнозирования на этапе выбора материалов.

6. В условиях промышленного производства были изготовлены новые гидрокостюмы DW для разных подтипов женских фигур.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

ИТОГИ ВЫПОЛНЕННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

1. На основе анализа функциональных и эстетических характеристик гидрокостюмов, современных методов их проектирования и экспертного опроса любителей дайвинга определены основные направления проектирования в направлении повышения комфорта, в том числе с позиций исследования изменений антропометрических данных и функциональной структурной оптимизации.

2. Разработанная новая группировка женских фигур и сформирована база данных в виде антропометрических измерений, включающая динамические изменения размеров фигур при плавании под водой. Установлены участки наибольших динамических изменений размеров фигур при выполнении движений во время плавания.

3. Измерены относительные изменения размерных признаков женских фигур под действием динамических движений и давления, позволившие рассчитать допустимые диапазоны конструктивных прибавок в гидрокостюмах.

4. Предложен новый показатель, характеризующий компрессионную способность материалов гидрокостюма. Разработаны рекомендации для расчета конструктивных динамических прибавок одежды для восьми типов фигур.

5. Установлены зависимости для расчета верхних границ допустимого комфортного давления гидрокостюма от показателей деформационных свойств используемого материала.

6. Найденные зависимости между деформацией материала одежды и изменением размерных признаков фигуры использованы для генерирования цифровых двойников фигур. Созданы виртуальные двойники фигур в динамических положениях, соответствующих условиям плавания, для

виртуального моделирования динамической системы «фигура-гидрокостюм» под водой, примерки и оценка гидрокостюма.

7. В виртуальной среде проведена оптимизация конструктивных линий гидрокостюма с позиций оптимизации их конфигурации и достижения разумного давления в динамике.

РЕКОМЕНДАЦИИ, ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ

Результаты работы следует использовать в процессе высшего образования для подготовки бакалавров и магистров, специализирующихся в области дизайна компрессионной одежды, в смежных областях проектирования изделий легкой промышленности; на предприятиях, занимающихся производством гидрокостюмов, Необходимо провести усовершенствование современной концепции проектирования элементов САПР для разработки и оптимизации новых продуктов для подводного плавания.

Благодаря совершенствованию программ антропометрических измерений, можно выявить морфологические различия женских фигур, с целью кастомизации изделий и улучшения качества одежды в условиях массового потребления, устранить дефицит продукции на существующем рынке.

Дальнейшее развитие концепции «цифрового двойника» можно развивать одновременно в двух направлениях – для расширенного набора типовых фигур в условиях массового производства (ready-to-wear), а также для индивидуального подхода (e-bespoke).

Результаты работы могут быть использованы в области практического художественного и промышленного дизайна, образования и повышения квалификации для качественного изменения существующих концепций и развития новых экономик, ориентированных на цифровизацию.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1] Abteu, M.A. Development of comfortable and well-fitted bra pattern for customized female soft body armor through 3D design process of adaptive bust on virtual mannequin / M.A. Abteu, P. Bruniaux, B. François, et al // *Computers in Industry*, 2018, 100, pp. 7–20.

[2] Ancutienė, K. The influence of textile materials mechanical properties upon virtual garment fit / K. Ancutienė, D. Sinkevičiūtė // *Materials science*, 2011, 17(2), pp. 160–167.

[3] Ashdown, S.P. An investigation of the structure of sizing systems / S.P. Ashdown // *International Journal of Clothing Science & Technology*, 2013, 10(5), pp. 324–341.

[4] Avădanei, M. 3D pattern design of products with special destination / M. Avădanei, C. Loghin, I. Dulgheriu // *TEXTILE. PIELĂRIE*, 2013, pp. 19–30.

[5] Aldrich, W. *Metric pattern cutting for women's wear (5th Edition)* / W. Aldrich // Blackwell Publishing, 2007. – 218p.

[6] Bai, Q. Application of stitching design in sportswear / Q. Bai // *Modern Business Industry*, 2015, 36(25), pp. 116–116.

[7] Ballester, A. 3D-based resources fostering the analysis, use, and exploitation of available body anthropometric data / A. Ballester, E. Parrilla, J. Uriel // *Proceedings of the 7th International Conference on 3D Body Scanning Technologies*, Lugano, Switzerland, 21-22 October, 2014, –C. 237–247.

[8] Berry, M.J. The effects of elastic tights on the post-exercise response. *Canadian journal of sport sciences* / M.J. Berry, S.P. Bailey, L.S. Simpkins, et al. // *Journal canadien des sciences du sport*, 1991, 15(4), pp. 244–248.

[9] Brown, F. Compression garments and recovery from exercise: a meta-analysis / F. Brown, C. Gissane, G. Howatson, et al. // *Sports Medicine*, 2017, 47(11), pp. 2245–2267.

[10] Chen, D. *Clothing Hygiene* / D. Chen // Beijing: China Textile Press,

2000, p. 64.

[11] Chen, D. Development of garment pressure testing system / D. Chen, L. Cui // *Journal of Textile Research*, 2008, 29(3), pp. 72–75.

[12] Chen, G. Research on virtual simulation technology of men's shirt for personalized customization / G. Chen, Q. Li, D. Chen // *Textile Industry and Technology*, 2018, 47(11), pp. 29–31.

[13] Cheng, Z. A digital replica of male compression underwear / Z. Cheng, V.E. Kuzmichev, D.C. Adolphe // *Textile Research Journal*, 2020, 90(7-8), pp. 877–895.

[14] Cheng, Z. Development of knitted materials selection for compression underwear / Z. Cheng, V.E. Kuzmichev, D.C. Adolphe // *Autex Research Journal*, 2017, 17(2), pp. 177–187.

[15] Cheng, Z. Research on the male lower torso for improving underwear design / Z. Cheng, V.E. Kuzmichev, D.C. Adolphe // *Textile Research Journal*, 2019, 89(9), pp. 1623–1641.

[16] Choi, J.H. A Study about reduction rate of wetsuit patterns for men in their 30s / J.H. Choi // *Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles*, 2011, 35(9), pp. 1039–1048.

[17] Choi, J.H. Development of the men's scuba diving suit pattern by using 3D body-scanned data / J.H. Choi // *Journal of the Korean Home Economics Association*, 2011, 49(4), pp. 105–113.

[18] Choi, J.H. The production condition and consumer satisfaction of men's scuba diving suits / J.H. Choi, J.A. Jeong // *Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles*, 2009; 33(11), pp. 1683–1695.

[19] Choi, M.S. Comparison of body measurements between korean and the us women aged over 55 / M.S. Choi, P.A. Susan, H.J. Cho // *Fashion Business*, 2002, 6(6), pp. 34–42.

[20] Chun, J. Sizing in Clothing, Communication of sizing and fit / J. Chun // *Woodhead Publishing Series in Textiles*, 2007, pp. 220–245

[21] Coltman, C.E. Three-dimensional scanning in women with large, ptotic

breasts: implications for bra cup sizing and design / C.E. Coltman, D.E. McGhee, J.R. Steele // *Ergonomics*, 2017, 60(3), pp. 439–445.

[22] Daanen, H.A. 3D body scanning. Automation in garment manufacturing / H.A. Daanen, A. Psikuta // Cambridge: Woodhead Publishing, 2018, 1, pp. 237–252.

[23] Danckaers, F. Evaluation of 3D body shape predictions based on features / F. Danckaers, T. Huysmans, D. Lacko, et al. // *Proceeding of 6th International Conference on 3D Body Scanning Technologies*, Lugano, Switzerland, 27-28 October 2015. –C. 27–28.

[24] Davis, L.R. Swimsuit issue and sport, the: hegemonic masculinity in sports illustrated / L.R. Davis // SUNY Press, 1997. – 163 p.

[25] Denton, M.J. Fit stretch comfort 3rd shirley international seminar / M.J. Denton // England Manchester: Textile for Comfort, 1970, pp. 15–17.

[26] Ding, X. The relationship between the stretch elasticity of knitted knitted beam pants and garment pressure / X. Ding, N. Chen, X. Wu // *Journal of Donghua University (Natural Science Edition)*, 2010, 1, pp. 47–51.

[27] Duan, L. Automatic three-dimensional-scanned garment fitting based on virtual tailoring and geometric sewing / L. Duan, Z. Yueqi, W. Ge // *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, 2019, 14, pp. 1–16.

[28] Ernst, M. Investigation on body shaping garments using 3D-body scanning technology and 3D-simulation tools / M. Ernst, U. Detering-Koll, D. Güntzel // *Proceedings of the 3rd International Conference on 3D Body Scanning Technologies*, Lugano, Switzerland, 16-17 October 2012. –C. 64–73.

[29] Fei Y. Correlation of free movement of hands and garment ease / Y. Fei, Y. Guanluo, W. Chunyan // *Journal of Textile Research*, 2006, 27(7), pp. 40–43.

[30] Gao, X. Research and optimization of the structure of women's body-fitting yoga track pants (dissertation) / X. Gao // Donghua University, 2012. –101 p.

[31] GB/T 1335.2-1997, Standard sizing systems for garments-women (China), 1997. – 40 p.

[32] Geršak, J. The complex design concept for functional protective

clothing / J. Geršak, M. Marčič // *Tekstil*, 2013, 62(1-2), pp. 38–44.

[33] Gill, S. Sizing in clothing: developing effective sizing systems for ready - to - wear clothing / S. Gill // *Journal of Fashion Marketing & Management*, 2015, 12(4), pp. 579–581.

[34] Goto, K. Efficacy of wearing compression garments during post-exercise period after two repeated bouts of strenuous exercise: a randomized crossover design in healthy, active males / K. Goto, S. Mizuno, A. Mori // *Sports Medicine*, 2017, 3(1), pp. 25.

[35] Grogan, S. Whole body scanning as a tool for clothing sizing: effects on women's body satisfaction / S. Grogan, E. Storey, K. Brownbridge, et al. // *The Journal of The Textile Institute*, 2020, 111(6), pp. 862–868.

[36] Gu, J. Application of laminated fabric in diving suit / J. Gu, G. Shi // *Shanghai Textile Science and Technology*, 2005, 33(7), pp. 36–38.

[37] Gu, J. Characteristics and development trend of diving suit / J. Gu, P. Ni // *Personal Protective Equipment in China*, 2006, 2, pp. 45–47.

[38] Guo Z. Test experiment on the effects of body-shaping underwear on human physiology / Z. Guo, J. Xu, X. Liu // *Journal of Xi'an University of Technology*, 2012, 2, pp. 168–173.

[39] Hagggar, A. Pattern design for underwear, swimwear, beachwear and casual wear / A. Hagggar // *China Textile Press*, 2001. – 264 p.

[40] Han, H. Automatic body landmark identification for various body figures / H. Han, Y. Nam // *International Journal of Industrial Ergonomics*, 2011, 41(6), pp. 592–606.

[41] He, X. On the application of fabric stitching in the design of casual sportswear / X. He, H. Yuan, Y. Tian // *Modern Decoration (Theory)*, 2012, 11, pp. 209–210.

[42] Hrženjak, R. Sizing system for girls aged 13–20 years based on body types / R. Hrženjak, K. Doležal, D. Ujević // *Textile research journal*, 2015, 85(12), pp. 1293–1304.

- [43] <https://nl.oneill.com/pages/wetsuit> (дата обращения 2019-12-15).
- [44] <http://thedivingblog.com/how-many-active-divers-are-there/> (дата обращения 2020-2-2).
- [45] <http://www.chyxx.com/industry/201610/459676.html> (дата обращения 2019-10-23).
- [46] <http://www.ewetsuits.com/acatalog/How-Wetsuits-Work.html> (дата обращения 2019-3-5).
- [47] <http://www.madehow.com/Volume-4/Wet-Suit.html> (дата обращения 2020-01-20).
- [48] <http://www.navalunderseamuseum.org/mk-v/> (дата обращения 2019-09-19).
- [49] <http://www.stats.gov.cn/tjsj/tjgb/rkpcgb/> (дата обращения 2019-4-29).
- [50] <https://us.aqualung.com/>(дата обращения 2019-7-27).
- [51] <http://www.techweb.com.cn/news/2013-07-20/1311247.shtml> (дата обращения 2019-7-20).
- [52] <https://www.doc88.com/p-9863831651193.html> (дата обращения 2019-2-12).
- [53] <https://en.wikipedia.org/wiki/Neoprene> (дата обращения 2019-01-20).
- [54] https://en.wikipedia.org/wiki/Wallace_Carothers (дата обращения 2020-5-22).
- [55] <https://perfectwetsuit.com/wetsuit-thickness-and-temperature-guide/>(дата обращения 2020-2-7).
- [56] <https://surfing-waves.com/equipment/wetsuit-temperature-guide.htm>(дата обращения 2019-10-27).
- [57] <https://surfing-waves.com/wetsuit-thickness.htm> (дата обращения 2019-2-12).
- [58] <https://wetsuitwarehouse.com.au/blogs/news/seams-wetsuit-stitching>(дата обращения 2019-7-25).
- [59] https://www.arenawaterinstinct.com/en_global/woman-sams-carbon-wetsuit.html (дата обращения 2019-2-12).

[60] <https://www.cleanlinesurf.com/wetsuit-guide> (дата обращения 2019-2-12).

[61] <https://www.divesmartgozo.com/> (дата обращения 2019-10-23).

[62] <https://www.enjoy-swimming.com/swimming-breast-stroke.html> (дата обращения 2019-8-11).

[63] <https://www.kingofwatersports.com/wetsuit-buying-guide?group=US> (дата обращения 2019-2-12).

[64] <https://www.padi.com/about/who-we-are> (дата обращения 2020-2-15).

[65] <https://www.scubapro.com/blog/article/diving-semi-dry-wetsuit> (дата обращения 2019-5-10).

[66] https://www.sfia.org/reports/796_Scuba-Diving-Participation-Report-2019 (дата обращения 2019-2-12).

[67] <https://www.terrapinwetsuits.com/materials.html> (дата обращения 2020-2-1).

[68] Hu, M. Research on the setting of the prototype gap of the close-fitting thoracolumbar structure / M. Hu, Z. Lei // *Progress in Textile Science and Technology*, 2007, 4, pp. 77–80.

[69] Huang, L. Research on tight-fitting sportswear based on three-dimensional anthropometry / L. Huang, L. Song // *Industrial Design*, 2016, 2, pp. 69–70.

[70] Huang, M. Research on the tight-fitting prototype of knitted female tops based on the comfort of wearing pressure / M. Huang, X. Chai, B. Ke, et al. // *Wool Textile Technology*, 2016, 44(1), pp. 60–64.

[71] Hur, H.J. Investigation of wetsuit wearing condition and size system for product development—comparison between domestic brands and imported brands / H.J. Hur, S. Kim, J. Lee // *Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles*, 2015, 39(3), pp. 408–418.

[72] Jolly, K. Kinematic modeling of a motorcycle rider for design of functional clothing / K. Jolly, S. Krzywinski, et al. // *International Journal of Clothing Science and Technology*, 2019, pp. 1–19.

[73] JIS L 4005:2001, JATRA/JSA adult women's clothing size system (Japan), 2001. – 25 p.

[74] Jishuang, Y. High-tech swimsuits promote the development of swimming sports / Y. Jishuang, W. Ping, W. Yang, et al. // Chinese Invention and Patent, 2012, 9, pp. 26–27.

[75] Karakashian, K. Computational investigation of the Laplace law in compression therapy / K. Karakashian, C. Pike, R.L. Van // Journal of biomechanics, 2019, 85, pp. 6–17.

[76] Kim, J.M. A study on the visual image of windsurfing suits / J.M. Kim // Fashion & Textile Research Journal, 2012, 14(5), pp. 713–719.

[77] Kobayashi, T. Analysis of clothing pressure on the human body / T. Kobayashi, O. Shuya // SIMULIA Customer Conference, 2011, 5, pp. 1–15.

[78] Korycki, R. Optimisation of thermal conditions in a composite wet diving suit / R. Korycki // Fibres & Textiles in Eastern Europe, 2011, 19(6), pp. 89.

[79] Kuzmichev, V.E. Sizing and fit for pressure garments / V.E. Kuzmichev, Z. Cheng // Anthropometry, Apparel Sizing and Design. Woodhead Publishing, 2020, pp. 331–370.

[80] Labat, K. L. Body cathexis and satisfaction with fit of apparel / K.L. Labat, M.R. Delong // Clothing & Textiles Research Journal, 1990, 8(2), pp. 43–48.

[81] Lee, H.J. 3D pattern development of ergonomic outdoor pants based on skin deformation in trekking postures / H. Lee, Y. Lee, K. Hong // Korean Society of Human Engineers Conference Papers, 2013, 1, pp. 458–462.

[82] Lee, H.J. Selection and design of functional area of compression garment for improvement in knee protection / H.J. Lee, N.Y. Kim, K.H. Hong // Korean Journal of Human Ecology, 2015, 24(1), pp. 97–109.

[83] Lee, W. Heuristic misfit reduction: A programmable approach for 3D garment fit customization / W. Lee, H.S. Ko // Computers & Graphics, 2018, 71, pp. 1–13.

[84] Li, D. Analysis of wet diving suit / D. Li // World Textile Herald, 2016, 44 (5), pp. 60–65.

[85] Li, D. Research progress and discussion of wearing pressure comfort / D. Li, T. Xia, J. Li // *Textile Herald*, 2007, 11, pp. 98–100.

[86] Li, M. Research on underwear structure and digital design based on female body analysis / M. Li // *Journal of Donghua University*, 2001, 18(3), pp. 23–25.

[87] Liang, Z. New Olympic Siamese tight sportswear / Z. Liang // *Tianjin Textile Science and Technology*, 2001, 3, pp. 50–52.

[88] Lin, Y. Analysis and research on clothing comfort and its evaluation method / Y. Lin // *Bilingual Learning*, 2007, 12, pp. 220–222.

[89] Lin, Y.L. The development of a clothing fit evaluation system under virtual environment / Y.L. Lin, M.J. Wang // *Multimedia Tools and Applications*, 2016, 75(13), pp. 7575–7587.

[90] Liu, H. An investigation into the bust girth range of pressure comfort garment based on elastic sports vest / H. Liu, D. Chen, Q. Wei, et al. // *Journal of the Textile Institute*, 2013, 104(2), pp. 223–230.

[91] Liu, K. 3D interactive garment pattern-making technology / K. Liu, X. Zeng, P. Bruniaux, et al // *Computer-Aided Design*, 2018, 104, pp. 113–124.

[92] Liu, K. Fit evaluation of virtual garment try-on by learning from digital pressure data / K. Liu, X. Zeng, P. Bruniaux, et al // *Knowledge-Based Systems*, 2017, 133, pp. 174–182.

[93] Liu, Y. Study of optimum parameters for Chinese female underwire bra size system by 3D virtual anthropometric measurement / Y. Liu, J. Wang, C.L. Istook // *The Journal of The Textile Institute*, 2017, 108(6), pp. 877–882.

[94] Loercher, C. Motion-oriented 3D analysis of body measurements / C. Loercher, S. Morlock, A. Schenk // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, IOP Publishing, 2017, 254, p.172016

[95] Machado, A.A. Post-exercise effects of graduated compression garment use on skeletal muscle recovery and delayed onset muscle soreness: a systematic review / A.A. Machado, C.R. Kohn, A.J. Rombaldi // *Motricidade*, 2018, 14, pp.2–3.

[96] Mah, T. Investigation of the contribution of garment design to thermal

protection. Part 1: characterizing air gaps using three-dimensional body scanning for women's protective clothing / T. Mah, G. Song // *Textile Research Journal*, 2010, 80(13), pp. 1317–1329.

[97] Makabe, H. Effect of covered area at the waist on clothing pressure / H. Makabe, H. Momota, T. Mitsuno, et al. // *SeniGakkaishi*, 1993, 49(10), pp. 513–521.

[98] Matsuda, A. 3-dimensional joint torque calculation of compression sportswear using 3D-CG human model / A. Matsuda, H. Tanaka, H. Aoki, et al. // *Procedia Engineering*, 2015, 112, pp. 40–45.

[99] McMaster, D.T. The efficacy of wrestling-style compression suits to improve maximum isometric force and movement velocity in well-trained male rugby athletes / D.T. McMaster, C.M. Beaven, B. Mayo, et al. // *Frontiers in Physiology*, 2017, 8, p. 874.

[100] Meixner, C. Development of a method for an automated generation of anatomy-based, kinematic human models as a tool for virtual clothing construction / C. Meixner, S. Krzywinski // *Computers in Industry*, 2018, 98, pp.197–207.

[101] Monji, K. Changes in insulation of wetsuits during repetitive exposure to pressure / K. Monji, K. Nakashima, Y. Shogabe, et al. // *Undersea Biomed Research*, 1989, 16(4), pp. 313–319.

[102] Morgan, A. Can scuba diving offer therapeutic benefit to military veterans experiencing physical and psychological injuries as a result of combat? A service evaluation of Depthery UK / A. Morgan, H. Sinclair, et al. // *Disability and rehabilitation*, 2019, 41(23), pp. 2832–2840.

[103] Naebe, M. Assessment of performance properties of wetsuits / M. Naebe, N. Robins, X.Wang, et al. // *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part P: Journal of Sports Engineering and Technology*, 2013, 227(4), pp. 255–264.

[104] Naglic, M. and Petrak, S. 2017 Analysis of dynamics and fit of diving suits / M. Naglic, S. Petrak // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, IOP Publishing, 2017, 254, p.152007.

[105] Naglic, M.M. Analysis of 3D construction of tight fit clothing based on parametric and scanned body models / M.M. Naglic, S. Petrak, Z. Stjepanović // Proceedings of the 7th International Conference on 3D Body Scanning Technologies, Lugano, Switzerland, 30 Nov.-1 Dec. 2016. –C. 302–313.

[106] Naglic, M.M. Analysis of dynamics and fit of diving suits / M.M. Naglic, S. Petrak, J. Gersak, et al. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, IOP Publishing, 2017, 254(15), p.152007.

[107] Nakashima, M. 3D-CG based musculoskeletal simulation for a swimmer wearing competitive swimwear / M. Nakashima, T. Hasegawa, A. Matsuda, et al. // Procedia Engineering, 2013, 60(10), pp. 367–372.

[108] Nazakat, A. Effect of different types of seam, stitch class and stitch density on seam performance / A. Nazakat, et al. // Journal of applied and emerging sciences, 2014, 5(1), pp. 32–43.

[109] Ni, H. Pressure testing of women's elastic stockings and research on their pressure comfort / H. Ni, Y. Gan, D. Chen, S. Liang // Journal of Xi'an University of Technology, 2009, 1, pp. 35–38.

[110] Novak, H.F. Scuba diving as a rehabilitation approach in paraplegia / H.F. Novak, G. Ladurner // Die Rehabilitation, 1999, 38(3), pp. 181–184.

[111] Oh, H. A study of the improvement of foam material sealing technology for wetsuits / H. Oh, K.W. Oh, S. Park // Fashion and Textiles, 2019, 6(1), pp. 1–15.

[112] Peng, T. Research on the classification of young women's body based on front and back body differences (dissertation) / T. Peng // Wuhan Textile University, 2016.– 53p.

[113] Petrak, S. Dynamic anthropometry-defining protocols for automatic body measurement / S. Petrak, M. Naglic // Tekstilec, 2017, 4, pp. 254–262.

[114] Petrak, S. Impact of male body posture and shape on design and garment fit / S. Petrak, M. Mahnic, D. Rogale, et al. // Fibers and Textiles in Eastern Europe, 2015, 23(6), pp. 150–158.

[115] Petrak, S. Research of 3D body models computer adjustment based

onanthropometric data determined by laser 3D scanner / S. Petrak, M. Mahnic, D. Ujevic, et al. // Proceeding of 3rd International Conference on 3D Body Scanning Technologies, Lugano, Switzerland, 16-17 Oct. 2012. – C. 115–126.

[116] Petrak, S. Sizing and fit for swimsuits and diving suits / S. Petrak, M.M. Naglić, et al. // Anthropometry, Apparel Sizing and Design, Woodhead Publishing, 2020, pp. 255–287.

[117] Porterfield, A. Examining the effectiveness of virtual fitting with 3D garment simulation. International Journal of Fashion Design / A. Porterfield, T.A. Lamar // Technology and Education, 2017, 10(3), pp. 320–330.

[118] Prabir, J. Assembling technologies for functional garments - An overview / J. Prabir // Indian Journal of Fiber & Textile Research, 2011, 36(12), pp. 380–387.

[119] Pratt, J. Pressure garments: a manual on their design and fabrication / J.Pratt, G. West // Butterworth-Heinemann, 1995. –130 p.

[120] Rainey, C. Wet suit pursuit: hugh bradner's development of the first wet suit / C. Rainey // Scripps Institution of Oceanography SIO Reference, 1998, 11, pp. 1–10.

[121] Rudolf, A. Study regarding the virtual prototyping of garments for paraplegics / A. Rudolf, et al. // Fibers and Polymers, 2015, 16(5), pp. 1177–1192.

[122] Shenzhen Shengshihuayan Business Management Co., Ltd. 2019-2025 Research report on technology development trends of china's marine diving equipment industry, 2019, 1, pp. 7–8.

[123] Shimana, T. A new method for designing sportswear by using three dimensional computer graphic based anisotropic hyperelastic models and musculoskeletal simulations / T. Shimana, M. Nakashima, A. Matsuda, et al. // Procedia Engineering, 2013, 60, pp. 331–336.

[124] Shiue, M.C. Finishing method for manufacturing wetsuits non-stitch / M.C. Shiue // U.S. Patent Application 11/281, 118.(2007-5-17).

[125] Staal, T. A 3D anthropometric approach for designing a sizing, system for tight fitting garments / T. Staal, T. huysmans, et al. // 2nd International Comfort

Congress, August 29-30 2019, Delft, 2019. – C. 1–6.

[126] Staples, M.L. A system for the sizing of women's garments / M.L. Staples, D.B. Delury // *Textile Research Journal*, 1949, 19(6), pp. 346–354.

[127] Stjepanovic, Z. Construction of adapted garments for people with scoliosis using virtual prototyping and CASP method / Z. Stjepanovic, A. Cupar, S. Jevšnik, et al. // *Industria Textila*, 2016, 67(2), pp. 141–148.

[128] Su, J. Development of individualized pattern prototype based on classification of body features / J. Su, G. Liu, B. Xu // *International Journal of Clothing Science & Technology*, 2015, 27(6), pp. 895–907.

[129] Sybilska, W. Analysis of body measurements using a 3d contactless scanning method / W. Sybilska, L. Napieralska, E. Mielicka // *Autex Research Journal*, 2010, 10(3), pp. 77–79.

[130] Tanaka, H. 3-dimensional stress calculation of competitive swimwear using anisotropic hyperelastic model considering stress softening / H. Tanaka, T. Shimana, A. Matsuda // *Procedia Engineering*, 2014, 72, pp. 261–266.

[131] Van, G.E. Comparing swimsuits in 3D / G.E. Van, J. Molenbroek, S. Schreven, et al. // *Work*, 2012, 41(1), pp. 4025–4030.

[132] Vuruskan, A. Modeling of half-scale human bodies in active body positions for apparel design and testing / A. Vuruskan, S.P. Ashdown // *International Journal of Clothing Science and Technology*, 2017, 29(6), pp. 807–821.

[133] Wang X., Yao Mu. Discussion on the pressure comfort and sports function of sports protective equipment / X. Wang, M. Yao // *Journal of Northwest Textile University*, 2001, 15(2), pp. 56–59.

[134] Wang, G. Diving suit with automatic temperature adjustment / G. Wang // *Chinese Personal Protective Equipment*, 2002, 6, pp. 33.

[135] Wang, J. A review of the research on the application of digital clothing based on 3D measurement / J. Wang, X. Li // *Textile Herald*, 2011(11), pp.82–84.

[136] Wang, S. Research on thermal and wet comfort of golf clothing based on ergonomics / S. Wang, H. Xie, B. Hu, et al. // *Shanghai Textile Science and*

Technology, 2014, 42(11), pp. 11–14.

[137] Wang, X. Study on the difference in skin surface hardness of adult males with different body fat rates / X. Wang, W. Bu, S. Liu, et al. // Chinese Journal of Aerospace Medicine, 2013, 24(3), pp. 204–209.

[138] Wang, Y. Pressure comfort sensation and discrimination on female body below waistline / Y. Wang, Y. Liu, S. Luo, et al. // Journal of the Textile Institute, 2018, 109(8), pp. 1067–1075.

[139] Wang, Y. The Pressure comfort sensation of female's body parts caused by compression garment / Y. Wang, Y. Liu, S. Luo, et al. // Advances in Intelligent Systems and Computing, 2018, 608, pp. 94–104.

[140] Wang, Z. 3d human body data acquisition and fit evaluation of clothing / Z. Wang, Y.Q. Zhong, K.J. Chen, et al. // Advanced Materials Research, 2014, 989, pp. 4161–4164.

[141] Wang, Z. Preparation and performance study of composite phase change material loaded with fatty acid supported by expanded perlite for thermal insulation diving / Z. Wang // Shanghai:East China University of Science and Technology, 2013, – 56 p.

[142] Williams, G. Exposure suits: a review of thermal protection for the recreational diver / G. Williams, C.J. Acott // Rubicon Research Repository, 2003, 3, pp. 37–40.

[143] Wu, X. Development of female torso classification and method of patterns shaping / Xinzhou Wu, V.E. Kuzmichev, Peng T. // Autex Research Journal, 2018, 18(4), pp. 419–428.

[144] Wu, X. Analysis of diving sports mechanics and key points of diving suit design / Xinzhou Wu, Jinsong Du // Journal of Wuhan Textile University, 2015, 28(5), pp. 29–33

[145] Wu, X. Study on the body girth dynamic size for wetsuit ease design / Xinzhou Wu, V.E. Kuzmichev // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing, 2018, 459(1), p. 012085.

[146] Wu, X. Prediction of wet diving suit comfortability / Wu Xinzhou, V.E.

Kuzmichev // 18th AUTEX International conference, Istanbul, 20-22 June, Turkey. 2018. – C. 494–499.

[147] Wu, X. Design and dynamic simulation of 3d virtual wetsuit / Xinzhou Wu, V.E. Kuzmichev // DEStech Transactions on Computer Science and Engineering, 2018, 9, pp. 142–145.

[148] Wu, X. Research on the trousers with zero loose quantity pattern / Xinzhou Wu, Jingsong Du, Yunxiang Lu // Journal of Beijing Institute of Fashion Technology: Natural Science Edition, 2015, 35(3), pp. 33–39.

[149] Wu, X. A design of wetsuit based on 3D body scanning and virtual technologies / Xinzhou Wu, V.E. Kuzmichev // International Journal of Clothing Science and Technology, 2020, 33(4), pp: 477–494.

[150] Wu, X. Computer technologies for designing close-fitting apparel with specific properties / Xinzhou Wu, V.E. Kuzmichev // DEStech Transactions on Computer Science and Engineering, 2020, 9, pp. 30–35.

[151] Xiaoxia, S. The relationship between clothing pressure and human comfort / S. Xiaoxia, F. Xunwei. // Textile Journal, 2006, 27(3): 103–105.

[152] Xie, J. A comparative study of donghua prototype, new japanese buka prototype and russian mgutd women's prototype / J. Xie // International Textile Herald, 2014, 3, pp. 71–72.

[153] Xu D. Research on pressure comfort of women's one-piece swimwear / Daifang X., Dongyun L., Zhiming W. // Knitting Industry, 2013(6): 65–67.

[154] Xu, D. Design and optimization of women's swimwear wide margin based on pressure comfort / D. Xu, D. Liu, Z. Wu // Journal of Beijing Institute of Clothing Technology, 2012, 3, pp. 16–25.

[155] Xu, D. On the particularity of swimwear structure design /D. Xu // Journal of Tianjin Polytechnic University, 2000, 19(5), pp. 66–69.

[156] Xu, J. Study on the pressure comfort of women's beach volleyball clothing based on sports biomechanics / J. Xu, L. Zhang, F. Zhang, et al. // Journal of Tianjin Polytechnic University, 2009, 4(1), pp. 462–468.

[157] Yan, Y. The effect of women's basketball underwear pressure on heart

rate variability index / Y. Yan, J. Gao, J. Jin, et al. // *Journal of Textiles*, 2014, 35(6), pp. 100–104.

[158] Yeung, K.W. A 3D biomechanical human model for numerical simulation of garment–body dynamic mechanical interactions during wear / K.W. Yeung, Y. Li, X. Zhang // *The Journal of The Textile Institute*, 2004, 95(1), pp. 59–79.

[159] Yuan, J. Contrast test of thickness and thermal performance of two wet diving suit materials under pressure / J. Y, J. Gu, X. Gu // *Chinese Journal of Nautical Medicine and Hyperbaric Medicine*, 2008, 15(4), pp. 240–241.

[160] Yuan, S. Discussion on waterproof and breathable clothing and its processing technology / S. Yuan // *Shanghai Textile Science and Technology*, 2009, 37(1), pp. 1–2.

[161] Yuan, X. Study on the comfort of female tights / X. Yuan, Y. Gan, D. Chen // *Journal of Xi'an University of Technology*, 2009, 3, pp. 31–35.

[162] Zhang, F. Dynamic ease evaluation for 3D garment design / F. Zhang, T.J. Little // *Journal of Fashion Marketing and Management: An International Journal*, 2018, 22(2), pp. 209–222.

[163] Zhang, J. Upper garment 3d modeling for pattern making / J. Zhang, N. Innami, K.O. Kim, M. Takatera // *International Journal of Clothing Science & Technology*, 2015, 27(6), pp. 852–869.

[164] Zhang, L. The effect of clothing pressure on upper limb fatigue in men's basketball / L. Zhang, Y. Yan // *Journal of Zhejiang University of Science and Technology: Social Science Edition*, 2017, 38(2), pp. 133–138.

[165] Zhang, W. Ergonomics of clothing / W. Zhang, F. Fang // Shanghai: Donghua University Press, 2008, 1, pp. 183–190.

[166] Zhang, X. Research on comfortable pressure range of female one-piece swimsuit / X. Zhang, H. Mu // *Modern Silk Science and Technology*. 2012, 27(1), pp. 5–7.

[167] Zhao, L. Analysis of men's neck pressure comfort based on changes in neck blood flow / L. Zhao, D. Chen // *Journal of Clothing*, 2018, 3(6), pp. 487–491.

[168] Zhang Qiyue, Lu Xin. Analysis of research status of clothing pressure comfort [J]. Liaoning Silk, 2018(1): 29–30.

[169] Zhao, L. Study of an arm model for compression sleeve design and garment pressure measurement / L. Zhao, J. Yu, S. Zhang, et al. // Journal of Engineered Fibers and Fabrics, 2019, 14, №. 1558925019872656.

[170] Zhao, M. Study on the pressure comfort of warp-knit seamless fit women's tops / M. Zhao, Z. Wu, Z. Dong // Journal of Tianjin Polytechnic University, 2011, 2, pp. 35–39.

[171] Сеницкий И.А. Моделирование мягких тканей виртуального манекена для проектирования корсетных изделий и белья / И.А. Сеницкий, Д.А. Васильев, А.Е. Горелова, et al. // Программные продукты и системы, 2015, 1(109), pp. 167–172.

[172] У Синьчжоу. The influence of squatting postures on the tight pants pattern block / Синьчжоу У, В. Е. Кузьмичев // Информационная среда вуза. Иваново: ИВГПУ, 2017, 9. с.151–154

[173] У Синьчжоу. Инструментальное исследование деформации фигур под влиянием костюма для подводных видов спорта / Синьчжоу У, В. Е. Кузьмичев // II Международная научно-практическая конференция "Модели инновационного развития текстильной и легкой промышленности на базе интеграции университетской науки и индустрии. Образование-наука-производство": сборник статей. 23-25 марта 2016 г. - Казань: Изд-во КНИТУ, 2016, с. 462–465.

[174] У Синьчжоу. Алгоритм проектирования костюма для подводного плавания / Синьчжоу У, В. Е. Кузьмичев // Технология текстильной промышленности, 2019, 38(3), pp. 121–127.

[175] У Синьчжоу. Моделирование деформации фигур под влиянием водной среды и костюма для подводных видов спорта / Синьчжоу У, В. Е. Кузьмичев, Доминик С. Адольф // Инновационное развитие легкой и текстильной промышленности (ИНТЕКС-2016) сборник материалов Всероссийской научной студенческой конференции. МГУДТ. Москва, 2016, 5-

6 апреля, с. 32–35.

[176] Чен, Ч. Усовершенствованная технология проектирования мужского белья /Ч. Чен, В.Е. Кузьмичев // Информационная среда вуза, 2017, 1(24), с. 154–159.

Приложение А

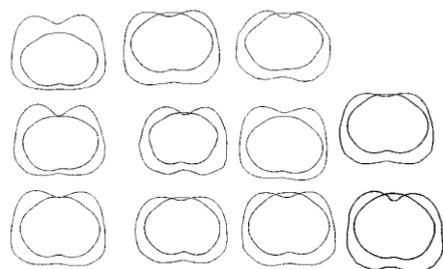
РЕЗУЛЬТАТЫ АНТРОПОМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

Таблица А.1 – Первичные измерения тела с помощью 3D-сканера тела

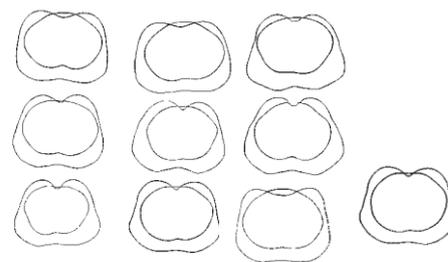
Категория	№.	ID	Интерпретация измерений	Символы	Средний, S.D., cm
1	2	3	4	5	6
Расстояние	1	0510	Расстояние от точки основания шеи сзади 7CV (BNP) до вертикали	-	27,0 ± 1,8
	2	0515	Расстояние от верхнегрудинной точки (FNP) до вертикали	-	36,6 ± 2,0
	3	0550	Расстояние от обхвата талии до вертикали*	-	44,2 ± 3,0
	4	0530	Расстояние от обхвата талии назад до вертикали	-	26,1 ± 2,9
	5	0600	Расстояние от обхвата груди 3 до вертикали	-	46,3 ± 3,1
	6	0610	Заднее расстояние от обхвата груди 3 до вертикали	-	23,1 ± 2,4
Ширина	7	3020	Расстояние между плечевыми точками	-	41,6 ± 4,1
	8	4030	Расстояние между выступающими точками груди (BP)	-	17,2 ± 1,8
	9	4010	Ширина обхвата груди спереди	-	34,6 ± 5,5
	10	5020	Ширина спины	-	33,1 ± 2,9
Обхват	11	4510	Обхват груди третий	BG	83,9 ± 4,7
	12	6510	Обхват талии	WG	69,5 ± 5,5
	13	7520	Обхват бедер без учета выступа живота	HG	90,0 ± 5,3
	14	9510	Обхват бедра	TG	51,2 ± 3,3
Рост	15	0030	Высота до точки основания шеи сзади (7CV / BNP)	H _{BNP}	136,9 ± 8,0
	16	0170	Высота линии обхвата груди	H _{BP}	115,7 ± 7,8
Длина	17	2010/ 2020	Длина верхней части туловища сбоку	SL	15,4 ± 1,8

Окончание таблицы А.1

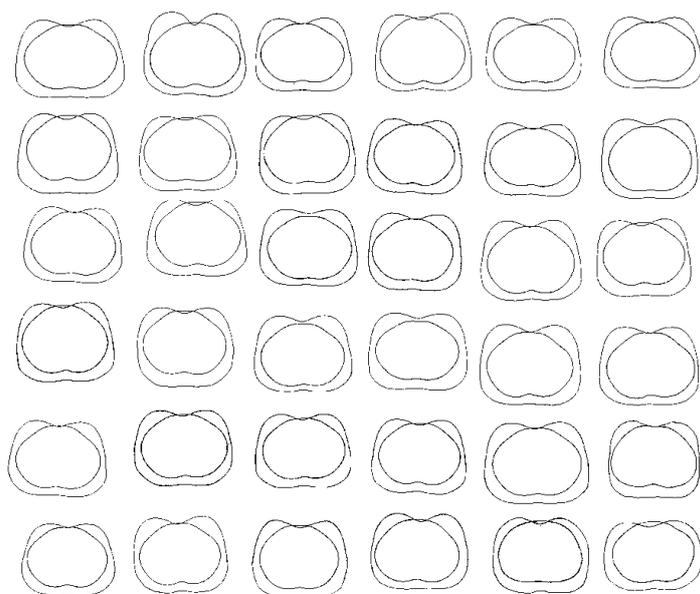
1	2	3	4	5	6
	18	4050	От верхнегрудинной (FNP) до талии спереди	FNP-WL	32,8 ± 2,5
	19	5040	Длина спины до талии	BNP-WL	37,1 ± 2,2
	20	6011	Передний участок дуги через паховую область	-	34,1 ± 2,8
	21	6012	Задний участок дуги через паховую область	-	36,9 ± 2,5
	22	6010	Дуга через паховую область	-	71,1 ± 3,8
Дополнительные измерения	23	-	Обхват груди спереди	BG _F	42,3 ± 4,5
	24	-	Обхват груди сзади	BG _B	38,8 ± 4,6
	25	-	Обхват талии спереди	WG _F	35,0 ± 4,2
	26	-	Обхват талии сзади	WG _B	34,5 ± 4,3
	27	-	Обхват бедра спереди	HG _F	43,9 ± 3,1
	28	-	Обхват бедра назад	HG _B	46,6 ± 3,5
	29	-	Обхват средней талии	-	79,9 ± 6,1
	30	-	Обхват спереди средней талии	-	42,7 ± 3,9
	31	-	Обхват спины до середины талии	-	37,2 ± 2,0
	32		Обхват плеча	-	25,1 ± 2,3
	33	8530/ 8531	Обхват локтя	-	22,5 ± 2,2
	34	8555	Обхват запястья	-	15,3 ± 1,1
	35	9550/ 9551	Обхват лодыжки	-	25,1 ± 2,9
	36	9540/ 9541	Обхват теленка	-	34,5 ± 2,7
	37	8040/ 8041	Длина верхней рукоятки	-	30,0 ± 1,7
	38	3030/ 3031	Длина плеча	-	12,5 ± 1,1
	39	8030/ 8031	Длина руки	-	52,5 ± 3,1
	40	9010/ 9011	Длина по внутреннему шву	-	63,2 ± 3,8
	41	9040/ 9041	Длина внешнего шва	-	91,1 ± 6,4
	42	0010	Рост	-	161,5 ± 5,6



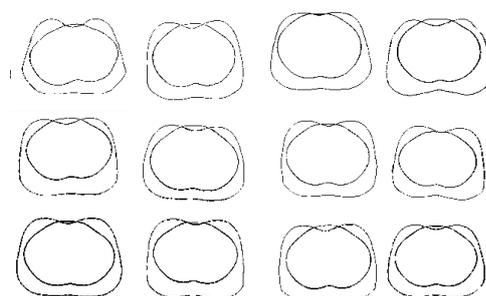
Y1



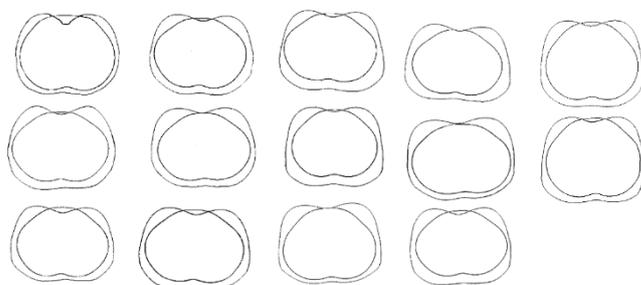
Y2



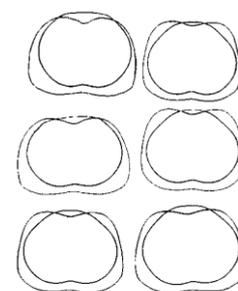
A1



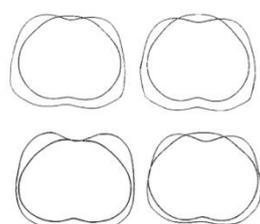
A2



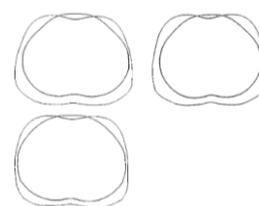
B1



B2



C1



C2

Рис.А.1 – Поперечное сечение талии и бедер для 8 типов телосложения

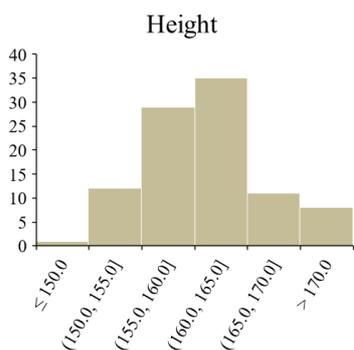


Рис.А.2 – Распределение данных по высоте

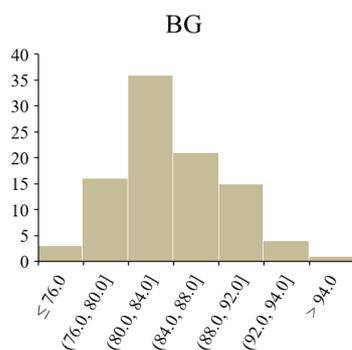


Рис.А.3 – Распределение данных BG

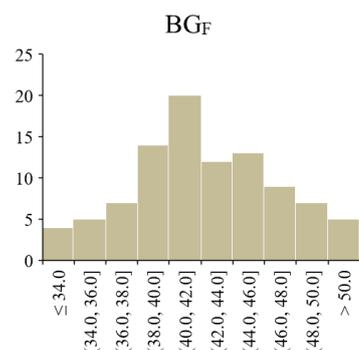


Рис.А.4 – Распределение данных BGF

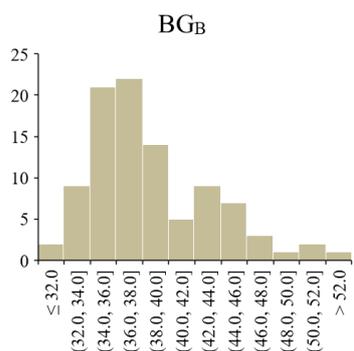


Рис.А.5 – Распределение данных BGB

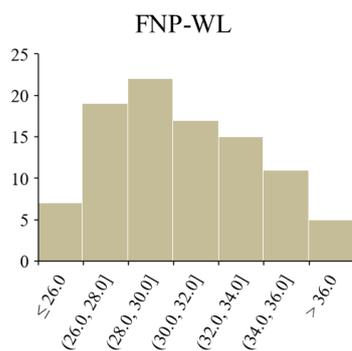


Рис.А.6 – Распределение данных FNP-WL

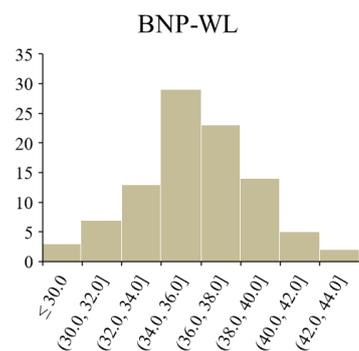


Рис.А.7 – Распределение данных BNP-WL

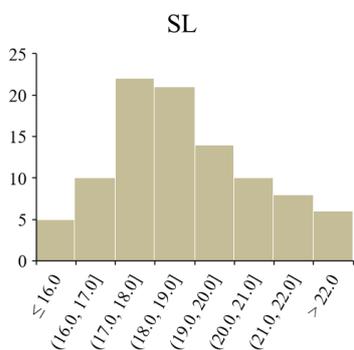


Рис.А.8 – Распределение данных SL

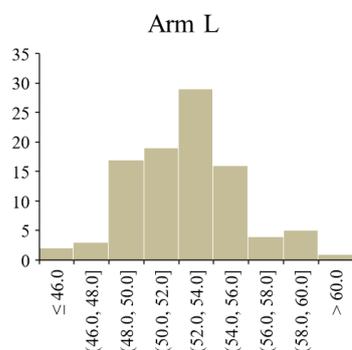


Рис.А.9 – Распределение данных по длине рук

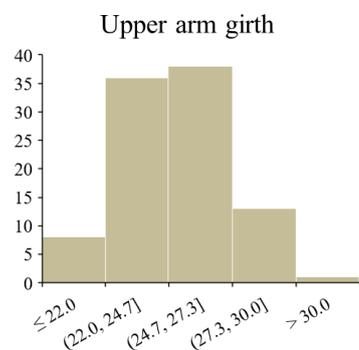


Рис.А.10 – Распределение данных обхвата плеча

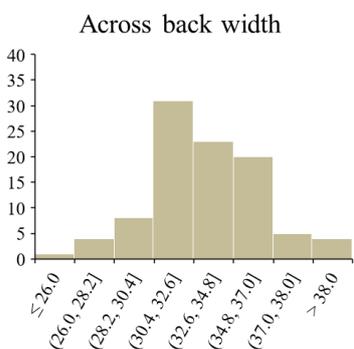


Рис.А.11 – Распределение данных ширина спины

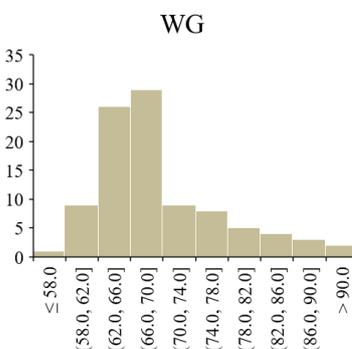


Рис.А.12 – Распределение данных WG

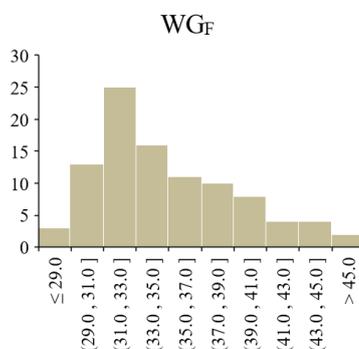


Рис.А.13 – Распределение данных WGf

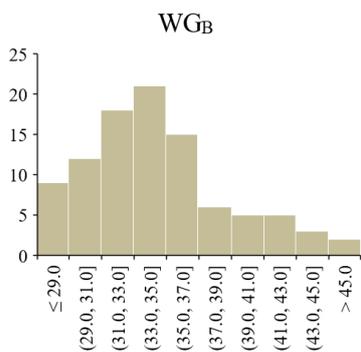


Рис.А.14 – Распределение данных WGB

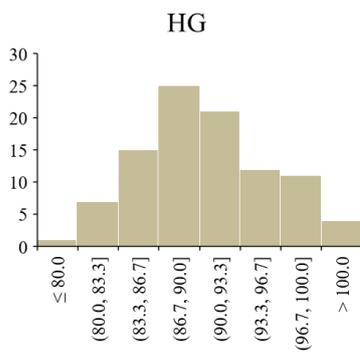


Рис.А.15 – Распределение данных HG

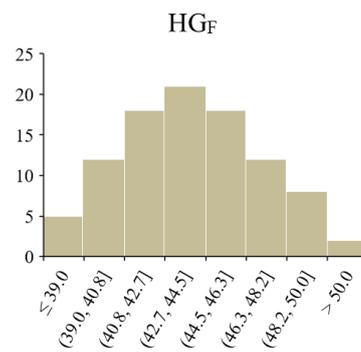


Рис.А.16 – Распределение данных HGF

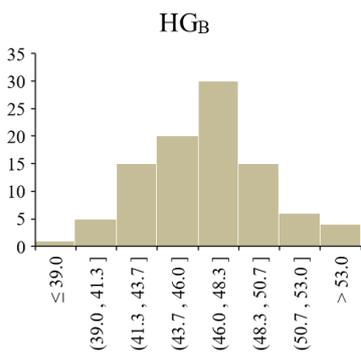


Рис.А.17 – Распределение данных HGB

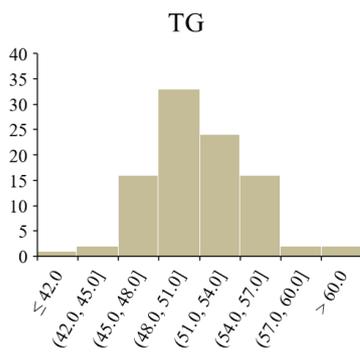


Рис.А.18 – Распределение данных TG

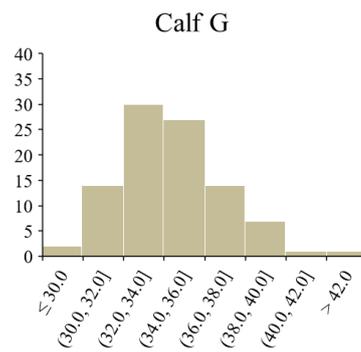


Рис.А.19 – Распределение данных об обхвате теленка

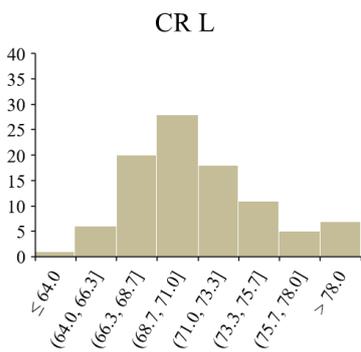


Рис.А.20 – Распределение данных длины промежности

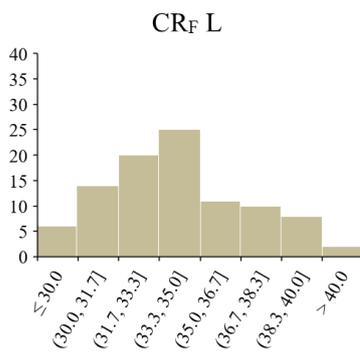


Рис.А.21 – Распределение данных длины передней части промежности

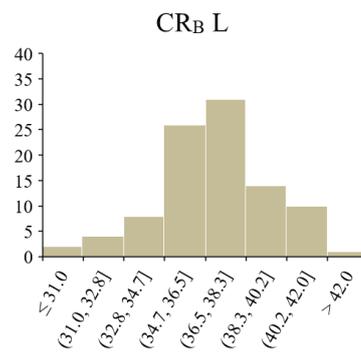


Рис.А.22 – Распределение данных длины спины промежности

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ И РАСТЯЖЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ

Таблица Б.1 – E_{\max} на семи обхватах тела, %

Обхваты	Поперек петельных столбиков материала				
	M1	M2	M3	M4	<i>Среднее значение</i>
1	2	3	4	5	6
Плеча	20,4	18,5	12,6	19,5	17,8
Предплечья	20,0	18,5	14,0	19,5	18,0
Груди третий	27,2	21,4	15,5	22,8	21,7
Талия	27,7	19,6	14,1	20,2	20,4
Бедер без учета выступа живота	33,5	22,5	20,9	22,7	24,9
Бедра	24,6	16,9	12,5	18,8	18,2
Икры	25,5	15,8	13,1	19,0	18,4
<i>Среднее значение</i>	25,6	19,0	14,7	20,4	19,9
	Вдоль петельных столбиков материала				
Обхваты	M1	M2	M3	M4	<i>Среднее значение</i>
Плеча	15,2	12,5	10,1	13,8	12,9
Предплечья	15,0	12,6	11,0	12,0	12,7
Груди третий	17,7	12,0	10,5	14,0	13,6
Талия	16,2	10,4	9,7	10,7	11,8
Бедер без учета выступа живота	19,5	12,5	10,2	16,2	14,6
Бедра	18,4	10,2	9,0	16,8	13,6
Икры	19,7	9,8	9,7	15,9	13,8
<i>Среднее значение</i>	17,4	11,4	10,0	14,2	13,3

Таблица Б.2 – P_{\max} для четырех материалов, кПа

	Поперек петельных столбиков материала				
Обхваты	M1	M2	M3	M4	<i>Среднее значение</i>
1	2	3	4	5	6
Плеча	2,01	1,95	2,38	1,84	2,05
Предплечья	2,17	1,91	2,46	1,89	2,11
Груди третий	1,84	1,72	2,09	1,72	1,84
Талия	1,75	1,70	2,02	1,64	1,78
Бедер без учета выступа живота	1,66	1,59	2,14	1,50	1,72
Бедра	1,38	1,34	2,02	1,22	1,49
Икры	2,19	1,80	2,52	1,78	2,07
<i>Среднее значение</i>	1,86	1,72	2,23	1,66	1,87
	Вдоль петельных столбиков материала				
Обхваты	M1	M2	M3	M4	<i>Среднее значение</i>
Плеча	2,10	2,45	2,65	2,26	2,37
Предплечья	2,21	2,34	2,88	2,25	2,42
Груди третий	1,95	2,26	2,46	2,19	2,22
Талия	1,80	2,14	2,35	2,10	2,10
Бедер без учета выступа живота	1,73	2,01	2,40	2,00	2,04
Бедра	1,45	1,98	2,21	2,10	1,94
Икры	2,32	2,45	2,80	2,39	2,49
<i>Среднее значение</i>	1,94	2,23	2,54	2,18	2,22

Таблица Б.3 – Значения $RC_{\text{д}}$ для обхватов фигуры, кПа /%

	Поперек петельных столбиков материала				
Обхваты	M1	M2	M3	M4	<i>Среднее значение</i>
1	2	3	4	5	6
Верхняя руки	0,21	0,20	0,25	0,19	0,21
Предплечья	0,23	0,20	0,26	0,20	0,22
Груди третий	0,13	0,12	0,14	0,12	0,13
Талия	0,12	0,12	0,14	0,11	0,12
Бедер без учета выступа живота	0,21	0,20	0,27	0,19	0,22
Бедра	0,11	0,11	0,16	0,10	0,12
Икры	0,28	0,23	0,32	0,23	0,27
<i>Среднее значение</i>	<i>0,18</i>	<i>0,17</i>	<i>0,22</i>	<i>0,16</i>	<i>0,18</i>
	Вдоль петельных столбиков материала				
Обхваты	M1	M2	M3	M4	<i>Среднее значение</i>
Верхняя руки	0,22	0,26	0,28	0,24	0,25
Предплечья	0,23	0,25	0,30	0,24	0,26
Груди третий	0,13	0,16	0,17	0,15	0,15
Талия	0,12	0,15	0,16	0,14	0,14
Бедер без учета выступа живота	0,22	0,25	0,30	0,25	0,25
Бедра	0,12	0,16	0,18	0,17	0,16
Икры	0,30	0,31	0,36	0,31	0,32
<i>Среднее значение</i>	<i>0,19</i>	<i>0,22</i>	<i>0,25</i>	<i>0,21</i>	<i>0,22</i>

Таблица Б.4 – Значения RC_m для обхватов фигуры, кПа /%

Поперек петельных столбиков материала					
Обхваты	M1	M2	M3	M4	<i>Среднее значение</i>
1	2	3	4	5	6
Верхняя руки	2,13	1,93	1,31	2,03	1,85
Предплечья	2,11	1,95	1,47	2,05	1,89
Груди третий	1,88	1,48	1,07	1,57	1,50
Талия	1,87	1,32	0,95	1,36	1,38
Бедер без учета выступа живота	3,88	2,81	2,61	2,84	3,03
Бедра	1,97	1,35	1,00	1,50	1,46
Икры	3,27	2,03	1,68	2,44	2,35
<i>Среднее значение</i>	2,44	1,84	1,44	1,97	1,92
Вдоль петельных столбиков материала					
Обхваты	M1	M2	M3	M4	<i>Среднее значение</i>
Верхняя руки	1,58	1,30	1,05	1,44	1,34
Предплечья	1,58	1,33	1,16	1,26	1,33
Груди третий	1,22	0,83	0,72	0,97	0,93
Талия	1,09	0,70	0,66	0,72	0,79
Бедер без учета выступа живота	2,75	1,56	1,28	2,03	1,90
Бедра	1,47	0,82	0,72	1,34	1,09
Икры	2,53	1,26	1,24	2,04	1,77
<i>Среднее значение</i>	1,75	1,11	0,98	1,40	1,31

Таблица Б.5 – Усредненные значения E_{\min} (M1), %

Обхваты	Y1	Y2	A1	A2	B1	B2	C1	C2	Среднее значение
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
BGF	-17,4	-17,5	-22,9	-24,0	-18,6	-23,7	-19,4	-18,1	-20,2
WG	-1,2	-1,3	-4,1	-4,6	-3,6	-3,7	-3,3	-3,4	-3,1
WGF	-6,5	-3,4	-5,6	-7,1	-6,1	-4,9	-7,3	-10,8	-6,5
HG	-5,0	-5,6	-8,6	-7,3	-9,0	-4,3	-8,6	-6,6	-6,9
HGB	-22,9	-17,2	-25,5	-18,2	-22,2	-18,9	-19,6	-24,5	-21,1
Бедра	-2,4	-2,2	-2,1	-3,0	-0,9	-2,8	-4,1	-4,0	-2,7
Икры	-5,5	-4,6	-4,9	-4,6	-5,8	-2,9	-8,4	-6,1	-5,4
Верхняя руки	0,6	1,5	2,4	1,9	1,7	1,1	1,3	1,9	1,5
Предплечья	0,9	1,5	2,2	2,2	2,2	1,8	2,6	2,2	2,0

Таблица Б.6 – Усредненные значения E_{\min} (M2), %

Обхваты	Y1	Y2	A1	A2	B1	B2	C1	C2	Среднее значение
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
BGF	-12,9	-13,1	-17,1	-17,9	-13,9	-17,7	-14,4	-13,5	-15,1
WG	-0,8	-0,9	-2,8	-3,1	-2,4	-2,5	-2,2	-2,3	-2,1
WGF	-4,7	-2,5	-4,1	-5,2	-4,4	-3,5	-5,3	-7,8	-4,7
HG	-3,3	-3,7	-5,7	-4,8	-5,9	-2,8	-5,7	-4,4	-4,5
HGB	-15,1	-11,4	-16,8	-12,0	-14,6	-12,5	-12,9	-16,2	-13,9
Бедра	-1,5	-1,4	-1,3	-1,9	-0,5	-1,7	-2,6	-2,5	-1,7
Икры	-3,1	-2,6	-2,8	-2,6	-3,3	-1,6	-4,8	-3,5	-3,0
Верхняя руки	0,5	1,3	2,1	1,6	1,5	1,0	1,1	1,6	1,3
Предплечья	0,8	1,3	2,0	2,0	2,0	1,6	2,3	2,0	1,7

Таблица Б.7 – Усредненные значения E_{\min} (М3), %

Обхваты	Y1	Y2	A1	A2	B1	B2	C1	C2	Среднее значение
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
BGF	-10,0	-10,1	-13,2	-13,9	-10,7	-13,7	-11,2	-10,5	-11,7
WG	-0,6	-0,7	-2,3	-2,5	-1,9	-2,0	-1,8	-1,9	-1,7
WGF	-3,5	-1,9	-3,1	-3,9	-3,3	-2,7	-3,9	-5,9	-3,5
HG	-2,9	-3,3	-5,1	-4,3	-5,3	-2,5	-5,1	-3,9	-4,0
HGB	-13,4	-10,1	-15,0	-10,7	-13,0	-11,1	-11,5	-14,4	-12,4
Бедра	-1,2	-1,1	-1,0	-1,5	-0,4	-1,4	-2,1	-2,0	-1,3
Икры	-2,7	-2,3	-2,4	-2,3	-2,9	-1,4	-4,2	-3,0	-2,7
Верхняя руки	0,4	1,0	1,7	1,3	1,2	0,8	0,9	1,3	1,1
Предплечья	0,7	1,1	1,7	1,7	1,7	1,4	1,9	1,7	1,5

Таблица Б.8– Усредненные значения E_{\min} (М4), %

Обхваты	Y1	Y2	A1	A2	B1	B2	C1	C2	Среднее значение
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
BGF	-14,2	-14,4	-18,8	-19,7	-15,2	-19,4	-15,9	-14,9	-16,6
WG	-0,9	-1,0	-3,1	-3,4	-2,6	-2,8	-2,4	-2,5	-2,3
WGF	-4,8	-2,5	-4,2	-5,3	-4,5	-3,6	-5,4	-8,0	-4,8
HG	-7,4	-8,4	-12,8	-10,8	-13,3	-6,4	-12,8	-9,8	-10,2
HGB	-33,9	-25,6	-37,9	-27,1	-33,0	-28,0	-29,0	-36,4	-31,4
Бедра	-2,5	-2,3	-2,1	-3,1	-0,9	-2,8	-4,3	-4,1	-2,8
Икры	-7,8	-6,6	-7,0	-6,6	-8,2	-4,1	-11,9	-8,6	-7,6
Верхняя руки	0,7	1,9	3,0	2,3	2,1	1,4	1,6	2,3	1,9
Предплечья	1,1	1,8	2,7	2,7	2,7	2,2	3,1	2,7	2,4

Таблица Б.9– Усредненные значения E_{\min} вдоль петельных ст., %

Обхваты	Y1	Y2	A1	A2	B1	B2	C1	C2	Среднее значение
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
BGF	-16,8	-17,0	-22,2	-23,3	-18,0	-23,0	-18,8	-17,6	-19,6
WG	-1,1	-1,3	-3,9	-4,4	-3,4	-3,5	-3,1	-3,2	-3,0
WGF	-6,2	-3,2	-5,3	-6,7	-5,8	-4,6	-6,9	-10,3	-6,1
HG	-6,4	-7,3	-11,1	-9,4	-11,5	-5,6	-11,1	-8,6	-8,9
HGB	-29,5	-22,2	-32,9	-23,5	-28,7	-24,4	-25,2	-31,7	-27,3
Бедра	-2,3	-2,1	-2,0	-2,9	-0,8	-2,6	-3,9	-3,8	-2,5
Икры	-6,2	-5,2	-5,6	-5,2	-6,5	-3,3	-9,5	-6,9	-6,0
Верхняя руки	0,6	1,7	2,8	2,1	1,9	1,3	1,5	2,1	1,8
Предплечья	1,1	1,8	2,6	2,6	2,6	2,2	3,1	2,6	2,3

Таблица Б.10– Усредненные значения E_{\min} поперек петельных ст., %

Обхваты	Y1	Y2	A1	A2	B1	B2	C1	C2	Среднее значение
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
BGF	-10,5	-10,6	-13,8	-14,5	-11,2	-14,3	-11,7	-10,9	-12,2
WG	-0,6	-0,7	-2,2	-2,5	-1,9	-2,0	-1,7	-1,8	-1,7
WGF	-3,6	-1,9	-3,1	-4,0	-3,4	-2,7	-4,0	-6,0	-3,6
HG	-2,9	-3,2	-5,0	-4,2	-5,1	-2,5	-5,0	-3,8	-4,0
HGB	-13,1	-9,9	-14,7	-10,5	-12,8	-10,9	-11,2	-14,1	-12,1
Бедра	-1,5	-1,4	-1,3	-1,9	-0,5	-1,7	-2,6	-2,5	-1,7
Икры	-3,4	-2,8	-3,0	-2,8	-3,6	-1,8	-5,2	-3,7	-3,3
Верхняя руки	0,4	1,1	1,8	1,4	1,3	0,8	1,0	1,4	1,2
Предплечья	0,7	1,1	1,6	1,6	1,6	1,4	1,9	1,6	1,4

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЯ МАТЕРИАЛОВ НА КОМПЛЕКСЕ KES-F Диаграммы растяжения

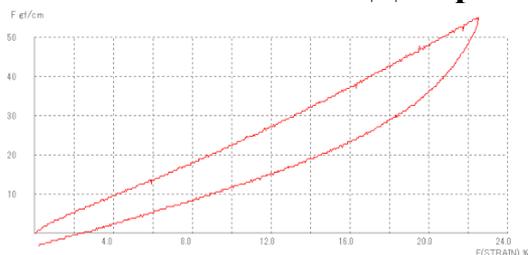


Рис.В.1 – KES испытание на растяжение (50 cN/cm) M1 вдоль пет.ст.

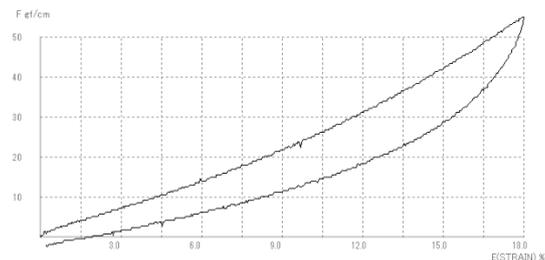


Рис.В.2 – KES испытание на растяжение (50 cN/cm) M1 поперек пет. ст.

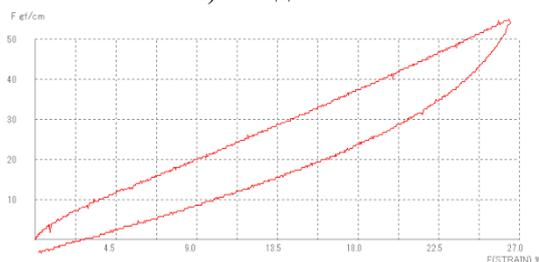


Рис.В.3 – KES испытание на растяжение (50 cN/cm) M2 вдоль пет. ст.

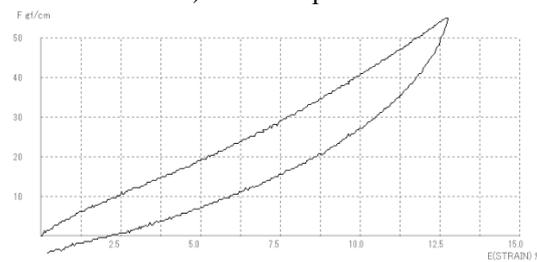


Рис.В.4 – KES испытание на растяжение (50 cN/cm) M2 поперек пет. ст.

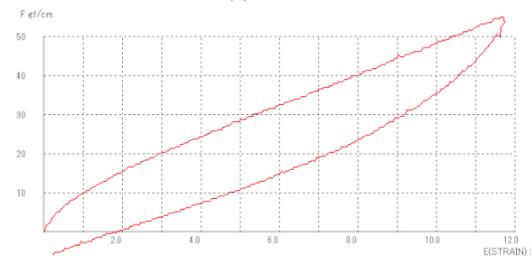


Рис.В.5 – KES испытание на растяжение (50 cN/cm) M3 вдоль пет. ст.

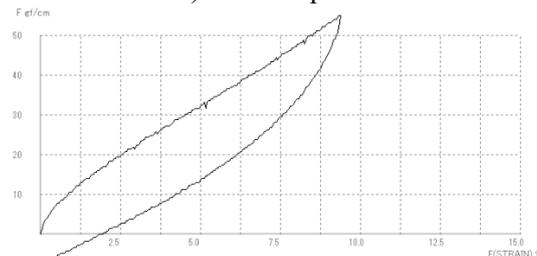


Рис.В.6 – KES испытание на растяжение (50 cN/cm) M3 поперек пет. ст.

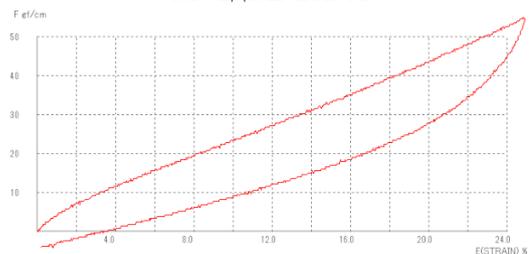


Рис.В.7 – KES испытание на растяжение (50 cN/cm) M4 вдоль пет. ст.

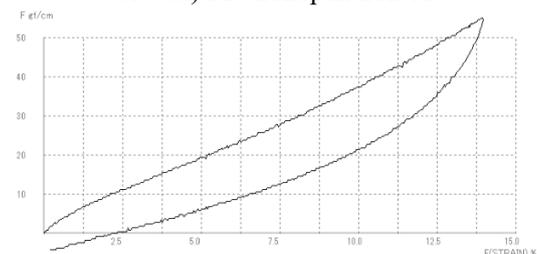


Рис.В.8 – KES испытание на растяжение (50 cN/cm) M4 поперек пет. ст.

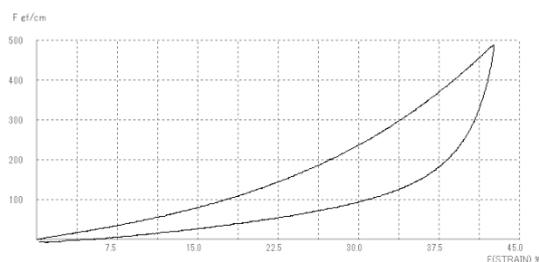


Рис.В.9 – KES испытание на растяжение (500 cN/cm) M1 вдоль пет. ст.

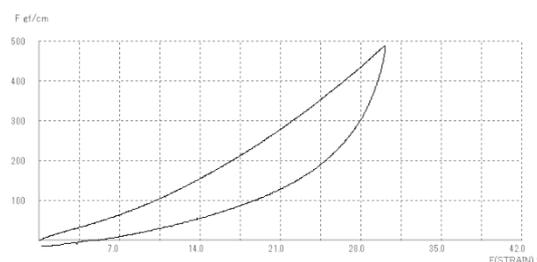


Рис.В.10 – KES испытание на растяжение (500 cN/cm) M2 вдоль пет. ст.

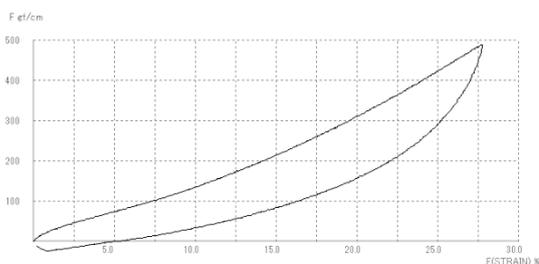


Рис.В.11 – KES испытание на растяжение (500 сН/см) М3 вдоль пет. ст.

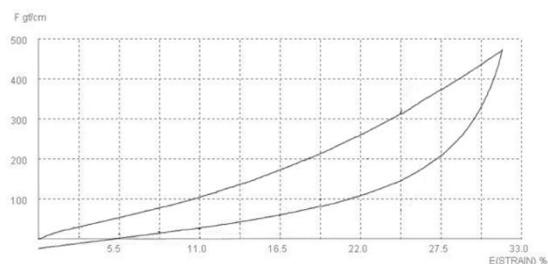


Рис.В.12 – KES испытание на растяжение (500 сН/см) М4 вдоль пет. ст.

Таблица В.1 – KES-FB1-4 индексы

KES индексы		Значения индексов для материалов			
		M1	M2	M3	M4
LC		0,603	0,550	0,473	0,664
WC (сН/см ²)		0,330	0,469	0,220	0,397
RC (%)		51,520	58,000	53,640	57,430
T _M (мм)		2,681	2,847	2,705	3,120
T ₀ (мм)		2,900	3,188	2,891	3,359
MIU	<i>Wale</i>	0,290	0,236	0,242	0,256
	<i>Course</i>	0,398	0,368	0,341	0,428
MMD	<i>Wale</i>	0,007	0,006	0,008	0,010
	<i>Course</i>	0,012	0,010	0,010	0,012
SMD	<i>Wale</i>	3,490	1,410	1,975	5,160
	<i>Course</i>	2,175	1,775	3,315	2,320
Высокая нагрузка 500 сН/см					
LT	<i>Wale</i>	0,684	0,796	0,870	0,799
	<i>Course</i>	0,533	0,561	0,625	0,575
WT (сН.см/см ²)	<i>Wale</i>	72,750	59,800	60,200	60,800
	<i>Course</i>	2,990	3,700	1,820	3,570
RT (%)	<i>Wale</i>	47,010	50,920	50,080	45,720
	<i>Course</i>	62,880	61,890	53,850	54,060

ончание таблицы В.1

1	2	3	4	5	6
EMT (%)	<i>Wale</i>	-	-	-	-
	<i>Course</i>	42,650	30,170	27,800	30,560
Низкая нагрузка 50 сН/см					
LT	<i>Wale</i>	0,473	0,52	0,614	0,541
	<i>Course</i>	0,533	0,561	0,625	0,575
WT (сН.см/см ²)	<i>Wale</i>	2,120	1,650	1,430	1,880
	<i>Course</i>	2,990	3,700	1,820	3,570
RT (%)	<i>Wale</i>	61,79	58,79	50,35	54,79
	<i>Course</i>	62,880	61,890	53,850	54,060
EMT (%)	<i>Wale</i>	18,030	12,690	9,320	13,910
	<i>Course</i>	22,450	26,400	11,640	24,840
G	<i>Wale</i>	2,520	3,590	7,310	3,140
	<i>Course</i>	2,490	3,570	7,080	3,620
2HG	<i>Wale</i>	5,280	8,750	19,200	7,850
	<i>Course</i>	4,150	7,350	18,900	8,130
2HG5	<i>Wale</i>	5,400	8,630	19,980	7,280
	<i>Course</i>	4,400	7,500	19,300	8,250

Таблица В.2 – Растягивающая нагрузка и давление вдоль пет. ст.

Материалы	Растягивающая нагрузка Fx (сН/см) при x, %				
	3%	6%	9%	12%	15%
1	2	3	4	5	6
M1	18,32	34,20	50,07	68,39	86,71
M2	21,98	36,64	50,07	64,73	78,16
M3	51,29	81,83	111,14	139,84	168,91
M4	23,20	39,08	53,74	68,39	83,05

Таблица В.3 – Растягивающая нагрузка и давление поперек пет. ст.

Материалы	Растягивающая нагрузка F_x (сН/см) при x , %		
	3%	6%	9%
1	2	3	4
M1	14,66	29,31	43,97
M2	29,31	54,96	87,93
M3	52,52	85,49	120,91
M4	35,45	62,29	91,60

Таблица В.4 – Коэффициенты корреляции между индексами P_{max} , E_{max} и данными измерений KES

KES индексы	P_{max}		E_{max}	
	Поперек пет. ст	Вдоль пет.ст	Поперек пет. ст	Вдоль пет.ст
1	2	3	4	5
<i>LT</i>	0,693	0,973	-0,937	-0,834
<i>WT</i>	-0,988	-0,967	0,496	0,989
<i>RT</i>	-0,350	-0,914	0,667	0,740
<i>EMT</i>	-0,925	-0,868	0,563	0,912
<i>G</i>	0,828	0,941	-0,908	-0,801
<i>2HG</i>	0,822	0,956	-0,904	-0,818
<i>2HG5</i>	0,829	0,940	-0,899	-0,799
<i>LC</i>	-0,831	-0,738	0,693	0,727
<i>WC</i>	-0,918	-0,469	0,335	0,158
<i>RC</i>	-0,599	0,205	-0,342	-0,436
<i>TM</i>	-0,689	-0,066	-0,026	0,016
<i>TO</i>	-0,802	-0,119	0,000	-0,030
<i>MIU</i>	-0,773	-0,794	0,671	0,943
<i>MMD</i>	-0,478	0,114	0,792	0,087
<i>SMD</i>	0,883	-0,456	-0,625	-0,628
F3	0,893	0,970	-	-
F6	0,914	0,971	-	-
F9	0,930	0,968	-	-
F12	0,948	-	-	-
F15	0,959	-	-	-

**LT* жесткость при растяжении, *WT* энергия растяжения, гс.см/см²; *RT* is recoverability, %; *EMT* Усилие при максимальной деформации 500 сН/см, %; *G* Жесткость на сдвиг, гс/см; *2HG* упругость при незначительном сдвиге, гс/см; *2HG5* эластичность при большом сдвиге, гс/см; *WC* работа сжатия, гс.см/см²; *MIU* коэффициент трения; *MMD* Среднее отклонение коэффициента трения; *SMD* это шероховатость поверхности

CURVEFIT

/VARIABLES= Pmax WITH F15c

/CONSTANT

/MODEL=INVERSE

Pmax**Inverse****Model Summary**

R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
.965	.931	.897	.082

The independent variable is F15c.

Coefficients

	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
1 / F15c	-78.805	15.137	-.965	-5.206	.035
(Constant)	2.699	.165		16.335	.004

Рис. В.13 – SPSS-анализ уравнения 4.3

CURVEFIT

/VARIABLES= Pmax WITH WTc

/CONSTANT

/MODEL=INVERSE

Pmax**Inverse****Model Summary**

R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
.987	.975	.962	.050

The independent variable is WTc.

Coefficients

	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
1 / WTc	1.945	.222	.987	8.773	.013
(Constant)	1.169	.083		14.029	.005

Рис. В.14 – SPSS-анализ уравнения 4.4

CURVEFIT

/VARIABLES= Pmax WITH WTw

/CONSTANT

/MODEL=INVERSE

Pmax**Inverse****Model Summary**

R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
.973	.947	.921	.069

The independent variable is WTw.

Coefficients

	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
1 / WTw	2.445	.407	.973	6.003	.027
(Constant)	.811	.238		3.414	.076

Рис. В.15 – SPSS-анализ уравнения 4.5

CURVEFIT

/VARIABLES= Pmax WITH LTw

/CONSTANT

/MODEL=INVERSE

Pmax**Inverse****Model Summary**

R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
.972	.944	.916	.071

The independent variable is LTw.

Coefficients

	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
1 / LTw	-1.194	.205	-.972	-5.811	.028
(Constant)	4.465	.388		11.519	.007

Рис. В.16 – SPSS-анализ уравнения 4.6

CURVEFIT

/VARIABLES= Pmax WITH 2HGw

/CONSTANT

/MODEL=S

Pmax

Inverse

Model Summary

R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
.999	.999	.998	.005

The independent variable is 2HGw.

Coefficients

	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
1 / 2HGw	-1.961	.050	-.999	-39.140	.001
(Constant)	1.031	.007		157.993	.000

Рис. В.17 – SPSS-анализ уравнения 4.7

АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ БАЗОВОЙ КОНСТРУКЦИИ ГИДРОКОСТЮМА И РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ

Таблица Г.1 – Базовая сетка чертежа конструкции задней части

Сегмент	Правила построения	Иллюстрация
00	Draw a horizontal line to the right, and a vertical line down	
/00–02/	Draw a horizontal line to the right, and a vertical line down	
/00–02/	$BG / 12 = 6.7$ cm, half neck width; vertical line from 02	
/01–11/	$/00–10/ / 3 = 2.2$ cm, back neck depth, downward from point 00 ; draw a horizontal line from point 10 to the right; /10–01/ half neck back curve	
/10–30/	Equal to /01–11/ ; horizontal line from point 30 to the right	
/30–33/	Back width to SP, SP is 33	
/02–42/	Shoulder length, SNP-SP, 12.2 cm	
/10–90/	Back centre length, BNP-WL, neck back to waist, 38cm; draw a horizontal line from point 90 to the right waist line	
/10–80/	$BG / 3 + 7 = 20.3$ cm, BNP-BL; draw horizontal line from point 80 to the right	
/80–84/	$BG / 4 = 20.0$ cm, middle point 84 at side	
/60–80/	Point 60 on midway of /30–80/ ; draw horizontal line from point 60 to the right	
/60–62/	Back width, $BWB / 2 = 32.9 / 2 = 16.5$ cm, equal to /80–82/	

Таблица Г.2 – Базовая сетка чертежа конструкции передней части

Сегмент	Правила построения	Иллюстрация
/27–28/	Lower back /00–01/ than 0.5 cm, /27–28/ = /00–01/ - 0.2 = 6.5 cm, neck front width	
/28–58/	/00–01/ + 1 = 7.7 cm, neck front depth; /27–58/ is half neck front curve	
/28–48/	/00–10/ * 2 = 4.4 cm	
/27–45/	Shoulder length, SNP-SP, 12.2 cm, SP is 45 in front	
/45–48/	Front width to SP	
/78–88/	Point 78 onmidway of /58–88/, horizontal line to the left	
/76–78/	Equal to /88–86/, half front horizontal width FWB / 2 = 30.9 / 2 = 15.5 cm	
/84–88/	BG / 4 = 20.0 cm, middle point 84 at side	

Таблица Г.3 – Чертеж конструкции верхней части

Сегмент	Правила построения	Иллюстрация
/80–88/	BG / 2 = 40.0 cm, half length of the bust girth, point 24 in the middle	
/90–98/	Distance of point 90 to 98 equal to /80–88/, point 94 in the middle	
/62–84/	Draw curve, ($(82-84 // 2 + 0.5) = 4$ cm off from the vertex 82 of $\angle (62-82-84)$ angle bisector	
/76–84/	Draw curve, ($(82-84 // 2) = 3.5$ cm off from the vertex 86 of $\angle (76-86-84)$ angle bisector	
/90'–98'/	Half waist girth = 33.3 cm	

Таблица Г.4 – Чертеж конструкции нижней части

Сегмент	Правила построения	Иллюстрация
/94–114/	Square down from 94 to 114 , body rise 30.2 cm. /110–114/ = /114–118'/	
/100–108/	half hip girth = 44.8 cm, 110' on two-third of /94–114/	
/118–118'/	$HG / 16 - 0.5 = 5.1$ cm	
120, 110	120 lower 0.5 cm. Distance between 120 and 110 , $HG/8-0.5 = 10.7$ cm, crotch back width; (or /118–118'/ * 2 + 0.5)	
/90'–100–120/	Curve across the middle of altitude of triangle \angle /100-110-120/, off from the vertex 110	
/98–108–118/	Curve across the two-thirds of altitude of triangle \angle /108-118'-118/, off from the vertex 118'	
/94–144/	Vertical line from waist to ankle 88.9 cm	
/114–134/	Half the /94–144/ minus 2 cm	
/139–1310/	Mid-knee girth, /82–81/ + 3 cm = /8–82/	
/149–1410/	Ankle girth, /144–1410/ + 2 cm = /149–144/	

Таблица Г.5 – Чертеж конструкции рукава

Сегмент	Правила построения	Иллюстрация
/S01–S51/	Square down from S01 , sleeve length, SP to wrist, 49.8 cm	
/S01–S31/	One-third length of armscye curve /33–84–45/	
/S30–S32/	Horizontal line, upper arm girth, 25.7 cm, S31 in the middle	
/S01–S30/	Straight, equal to /S01–S32/	
/S32–S12/	Armscye front, S12 on half of /S01–S32/ and move 1 cm to the point S32 ; the curve fall 1.3 cm in middle of /S12–S32/	
/S01–S12/	Armscye front, the curverises 1.8 cm in middle of /S01–S12/	
/S20–S30/	Armscye back, S20 on the half of the ((/S01–S30/ - □), /S01–S32/ / 4 = □, as the figure shows; the curve fall 0.7 cm in middle	
/S01–S20/	The curve rises 2 cm in middle	
/S01–S41/	Upper arm length, 30.1 cm	
/S40–S42/	Elbow girth, S41 in the middle	
/S50–S52/	Wrist girth, S51 in the middle, 14.8 cm	
/S30–S50/	Inseam of sleeve, equal to /S32–S52/	

Таблица Г.6 – Правила построения базового гидрокостюма (Рисунок Г.1)

Сегмент	Правила построения
/10'-80'/	BNP-BL, for wetsuit shorten back length equal to the body measurement, 21.2 cm
/10'-90''/	Make curve start from point 60'
/58'-88'/	FNP-BL, for wetsuit shorten front length equal to the body measurement, 15.8 cm
33', 45'	Lower bust line and SP 33' and 45', SNP 01' and 27', decrease armscye depth
/90''-98/	Half WG, equal to /90'-98'/
/94-104'/	Equal to /98-108''/, the waist height to hip height by measured, 25.5 cm; lower the hip line to draw the back centre
/100''-108'/	Half HG, equal to the /100-108/
/98-108''/	Vertical line, shorten front crotch width, /33-61/ was shortened,
/98-118''/	Vertical line, equal to the /98'-118/, the front crotch length
/90''-120'/	Equal to the $CrL_B = 39.2$ cm, 120' lower than 120 (2.3 cm) and move to the left (1.8 cm); equal to the Full CrL minus CrL_F /98-118''/, and longer than the curve /90'-120/; distance between point 120 to 120' is balance value

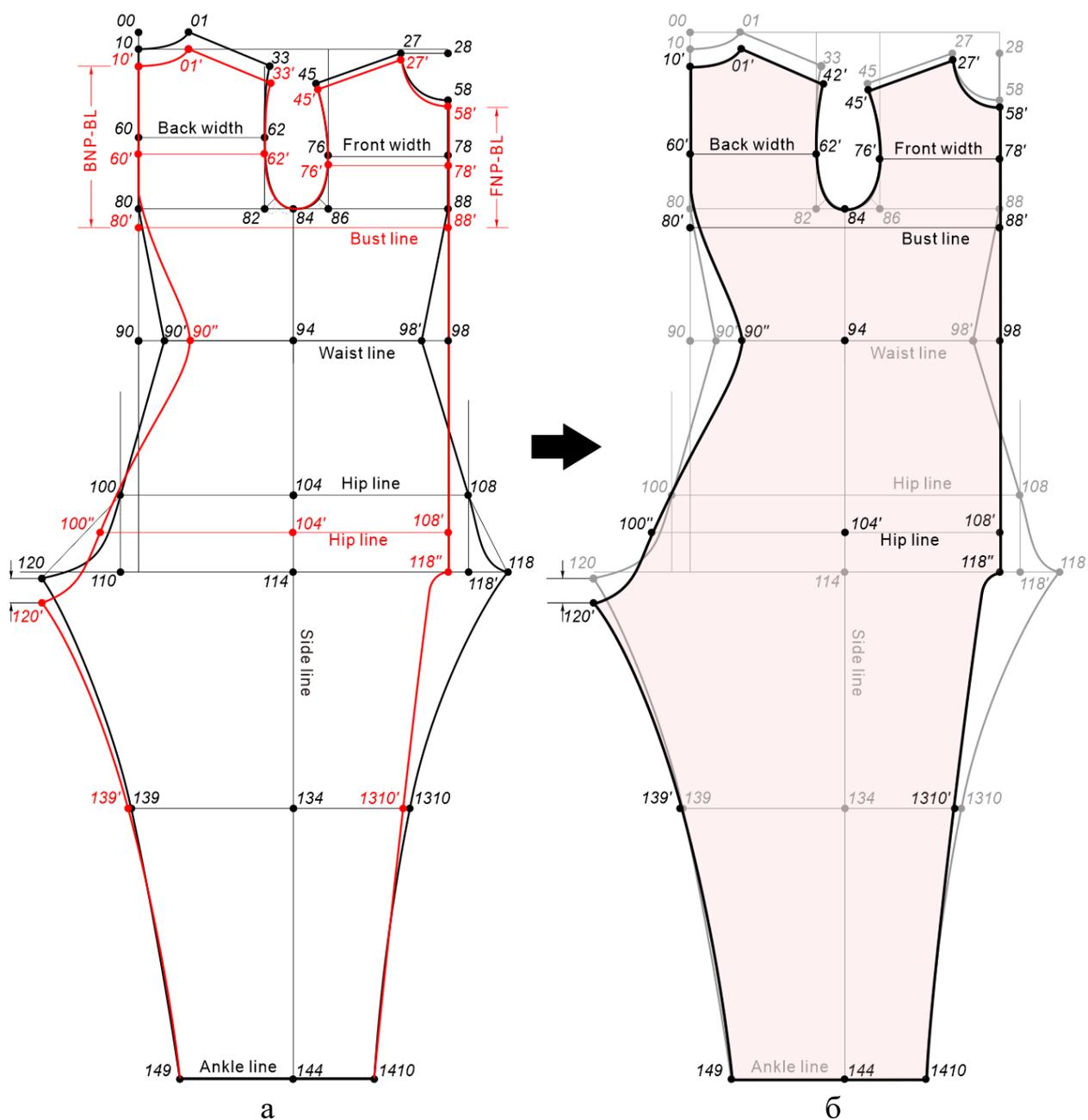


Рисунок Г.1 - Схемы чертежей: а - модификация на основе исходного прототипа; б - гидрокостюм базового типа (блок красного цвета)

Table Г.7 – Сравнение давления между двумя моделями

Измеренное положение		Новый образец, кПа	Базовый, кПа
Обхват груди третий	Перед	2,88	1,68
	Бок	0,35	1,38
	Спина	0,12	1,54
Обхват талии	Перед	1,00	0,80
	Бок	0,50	0,77
	Спина	0,80	1,61
Обхват бедер без учета выступа живота	Перед	0,78	1,27
	Бок	0,40	1,77
	Спина	1,97	2,18
Плечо		0,82	1,83
Бицепс обхват (Upper arm)		0,78	1,68
Предплечье		2,11	2,14
Запястье		0,12	0,67
Бедра		0,75	1,14
Колено спереди		1,07	0,92
Икры		1,68	1,45
Лодыжки		0,30	0,65
S.D., ±		0,77	0,49

Таблица Г.8 – Перепад давления (порядок значений SP, BP и боковая точка),%

Перед. Зад.	-3 см			-2 см			-1 см			0 см			1 см			2 см			3 см		
-3 см	-14,0	13,5	44,4	-16,4	8,5	18,8	-13,3	6,9	48,4	-25,0	-2,2	37,0	-15,6	-6,1	28,5	-24,9	-6,1	44,9	-30,4	-4,2	39,8
-2 см	-16,1	15,1	29,4	-18,9	2,7	29,1	-15,3	5,0	53,2	-22,4	-3,0	34,1	-17,3	-1,3	16,2	-24,9	-0,4	44,0	-24,2	-4,6	43,1
-1 см	-21,3	12,5	35,8	-20,7	1,3	23,8	-14,7	5,5	56,2	-18,9	-1,7	41,3	-17,8	-1,7	36,2	-20,8	-0,9	50,9	-24,2	-5,4	34,9
0 см	-23,8	7,5	26,6	-24,7	0,4	16,4	-21,1	3,1	49,6	-20,9	-2,1	38,6	-24,7	-5,7	31,5	-25,7	-7,7	36,1	-24,3	-8,8	43,1
1 см	-27,9	8,5	25,2	-21,0	-1,7	29,7	-19,0	2,7	50,0	-22,3	-2,1	33,8	-25,6	-5,3	24,4	-26,4	-10,9	38,5	-29,1	-8,7	50,9
2 см	-25,5	6,5	24,8	-22,7	-3,4	32,1	-19,0	2,7	53,7	-22,8	-2,5	54,5	-22,1	-4,9	20,7	-27,1	-7,3	35,8	-28,1	-9,8	44,5
3 см	-21,6	6,8	24,8	-20,7	-3,4	33,1	-15,1	2,2	54,4	-22,9	-2,5	49,2	-26,6	-6,1	16,5	-27,4	-5,7	34,7	-27,6	-9,7	39,7

Таблица Г.9 – Давление в области талии, кПа

Перед. Зад.	1 см	2 см	3 см	4 см	5 см
1 см	0,22	0,20	0,26	0,27	0,27
2 см	0,21	0,20	0,25	0,24	0,23
3 см	0,20	0,23	0,24	0,20	0,24
4 см	0,22	0,21	0,23	0,22	0,23
5 см	0,23	0,25	0,24	0,25	0,22

Таблица Г.10 – Перепад давления в боковой точке талии и SP

	Перепад давления, %				
<i>h</i>	7 см	9 см	11 см	13 см	15 см
Дточка плеча	-17,5	-20,0	-16,0	-15,2	-14,3
ΔБоковая точка талии	26,7	27,3	25,0	19,7	13,0

Таблица Г.11 – Давление на боковую точку талии и SP

	$C_1 + C_2 = x$				
<i>x</i>	2 см	4 см	6 см	8 см	10 см
	Давление, кПа				
точка плеча	1,77	1,65	1,56	1,47	1,45
Боковая точка талии	0,17	0,15	0,17	0,16	0,17
* Сумма C_1 и C_2 - это ширина манжеты. Для теста брали ширину манжеты от 2...10 см (средний обхват запястья 14,8 см).					

Таблица Г.12 – Давление на передние части

	Давление измеряется верхний Линия Бюста (BL)				
Выше линии бюста	1 см	2 см	3 см	4 см	5 см
ВР, кПа	1,98	1,94	1,92	1,85	1,77
Нижняя линия талии	2 см	4 см	6 см	8 см	10 см
Точки нижнего пупка, кПа	0,46	0,40	0,55	0,67	0,32

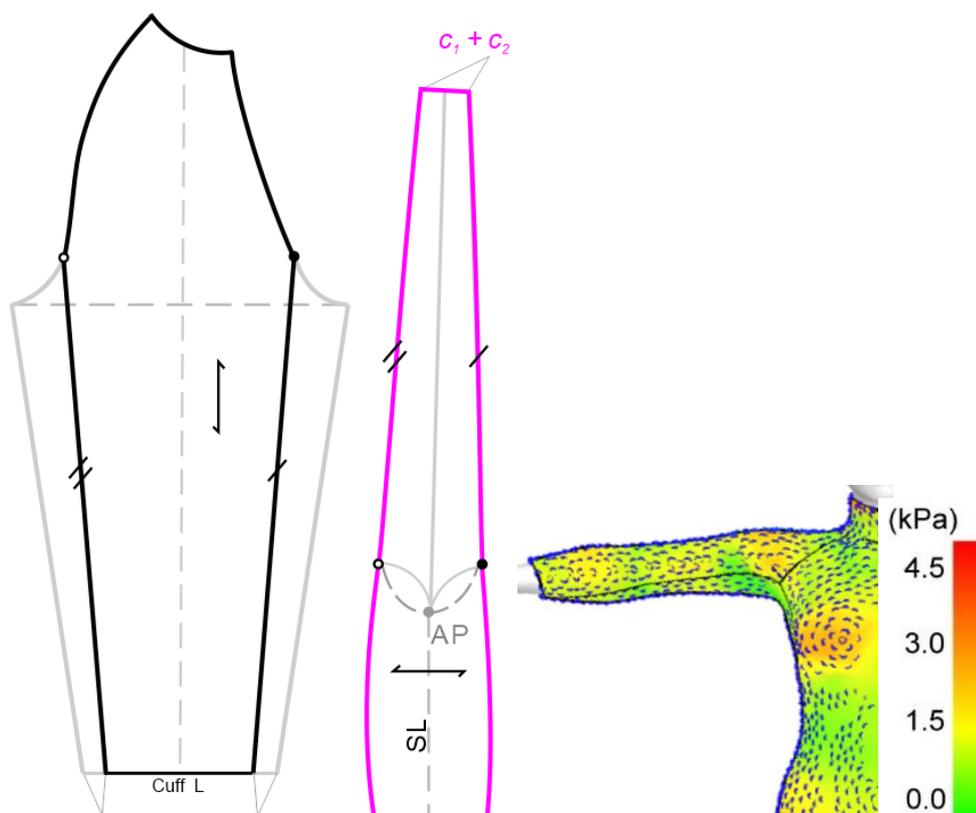


Рисунок Г.2 – Проверка конструкции рукава и ластовицы:

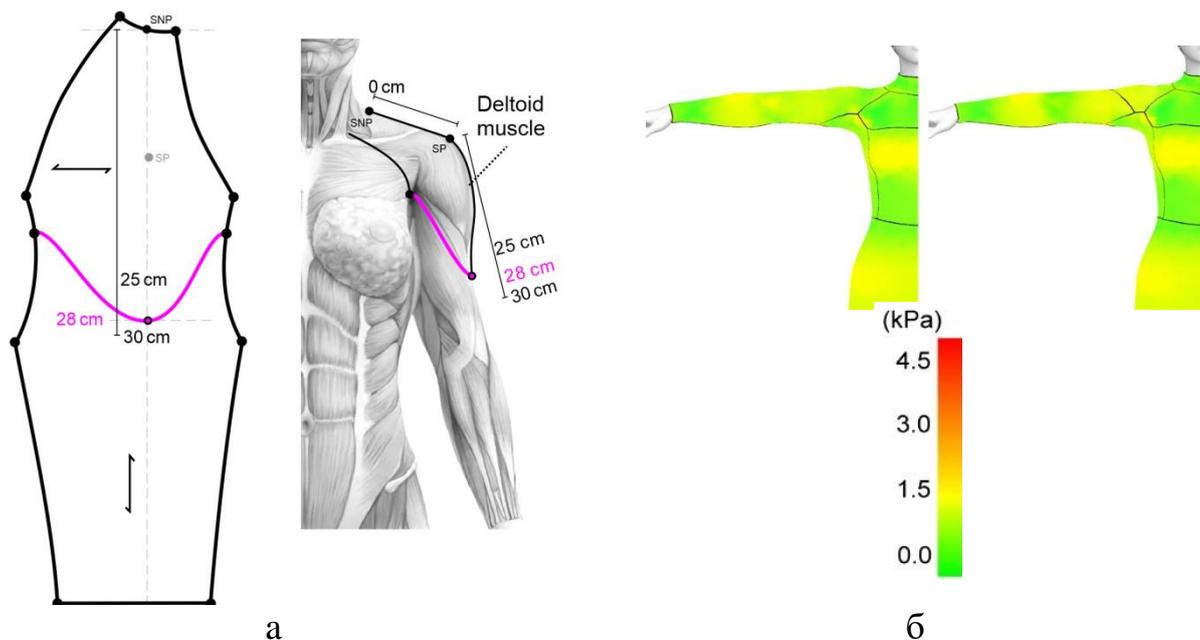


Рисунок Г.3 – Конструкция линии проймы: а - вырез на рукаве; б - (слева) традиционный дизайн, (справа) с введением линии проймы

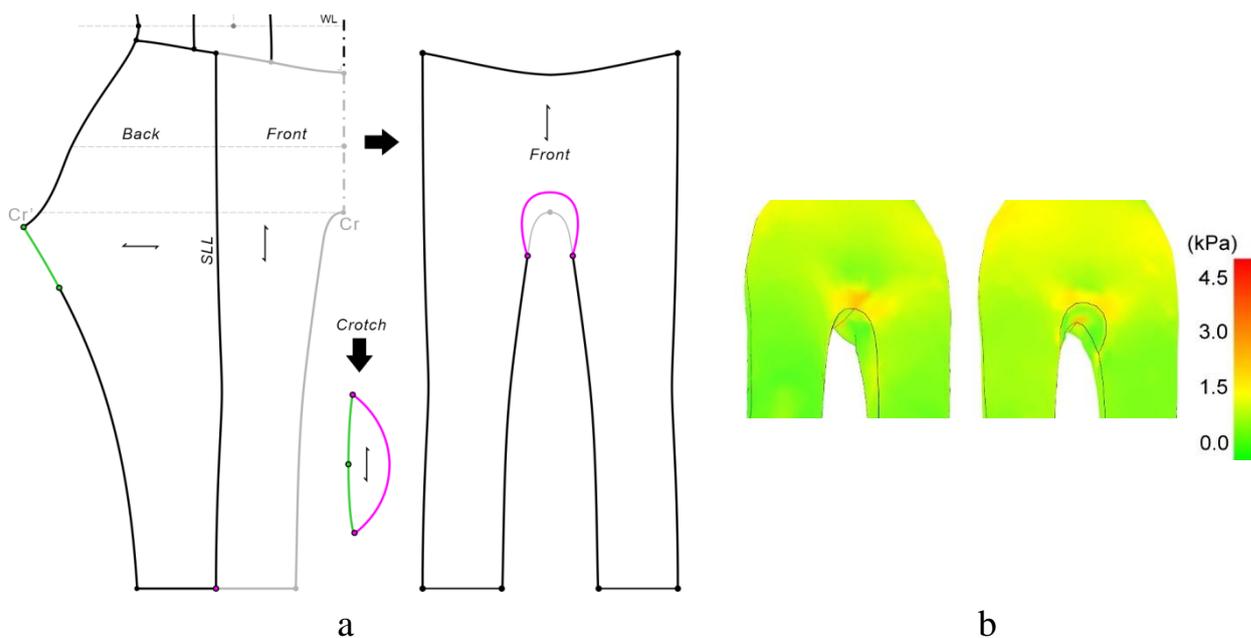


Рисунок Г.4– Конструкция ластовицы в паховой области: а - вырез по промежности; б - (слева) традиционный дизайн ластовицы, (справа) отрезная ластовица

* На рисунке показана отрезная ластовица - ширина 6...12 см, длина 20...26 см. Как правило, в женской обтягивающей одежде ширина ластовицы составляет 6...8 см.

Таблица Г.13 – Размеры добровольцев, см

	Тип	Рост	BG	BG _F	WG	HG	Обхват бедра	Длина дуги через паховую область
Испытуемый 1	Y1	158	81	43	62	86	46	66,0
Испытуемый 2	A1	157	82	44	67	91	52	68,5
Испытуемый 3	B1	160	88	47	71	89.5	49	67,0



Рисунок Г.5 – PW1-S на фигуре Y1



Рисунок Г.6 – PW1-MS на фигуре A1



Рисунок Г.7 – PW1-LS на фигуре B1



Рисунок Г.8 – Тест на приседание



Рисунок Г.9 – DW1-A1 S на фигуре
A1



Рисунок Г.10 – DW1-B1 S на фигуре
B1

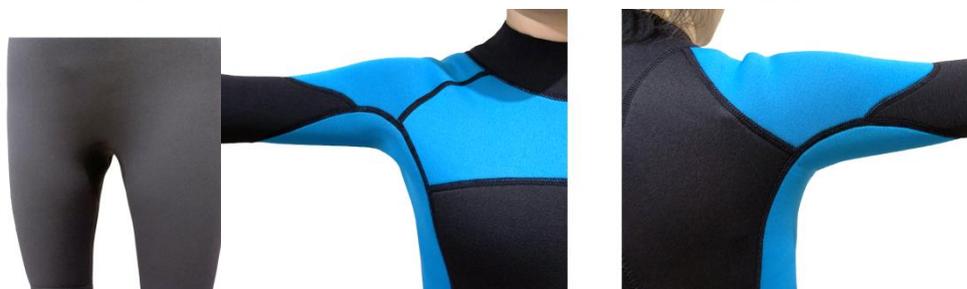


Рисунок Г.11 – Детали гидрокостюма

Таблица Г.14 – Разница давлений между PW и DW

Участок	PW		DW	
	Разница,%	Перепад давления	Разница , %	Перепад давления
Бюст	8,4	0,15	8,9	0,17
Талия	57	0,24	23,4	0,26
Ягодицы	20,3	0,20	7,1	0,08
Бедра	3,4	0,02	8,4	0,11
Плечо	-54,8	-1,22	-4,9	-0,10
Бицепс	143,6	0,78	33,6	0,37
<i>Средн.</i>	<i>29,6</i>	<i>0,03</i>	<i>12,8</i>	<i>0,15</i>

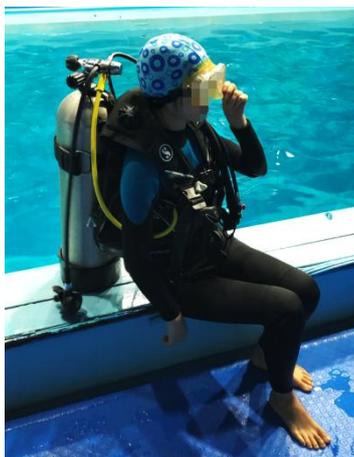


Рисунок Г.12 – Y1 тестер подводное плавание с аквалангом



Рисунок Г.13 – A1 тестер подводное плавание с аквалангом

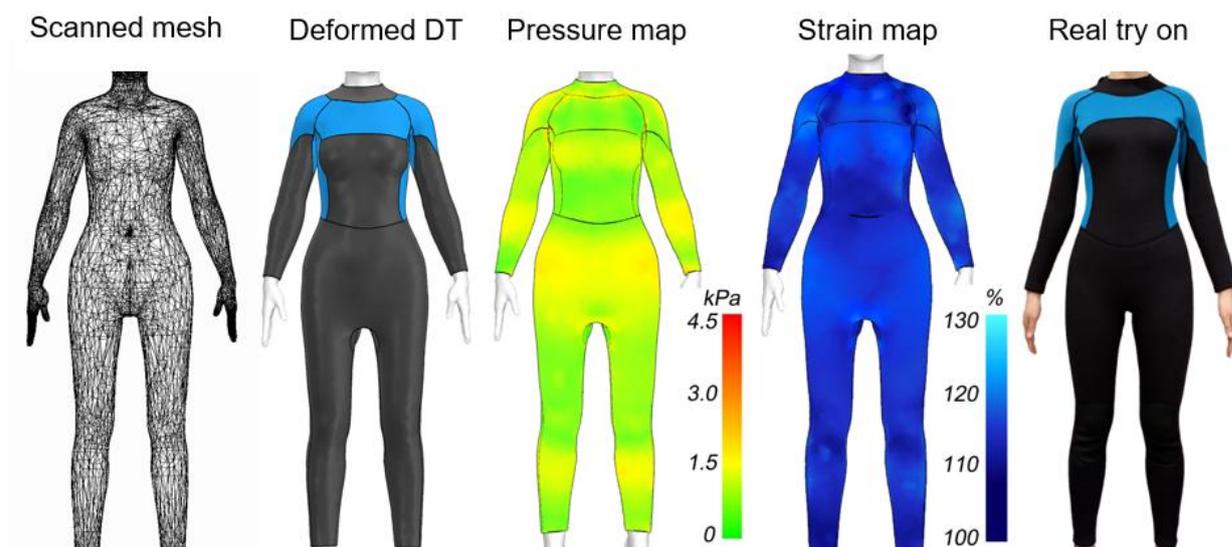


Рисунок Г.14 – Доброволец Y1 - Виртуальный и настоящий дайвинг

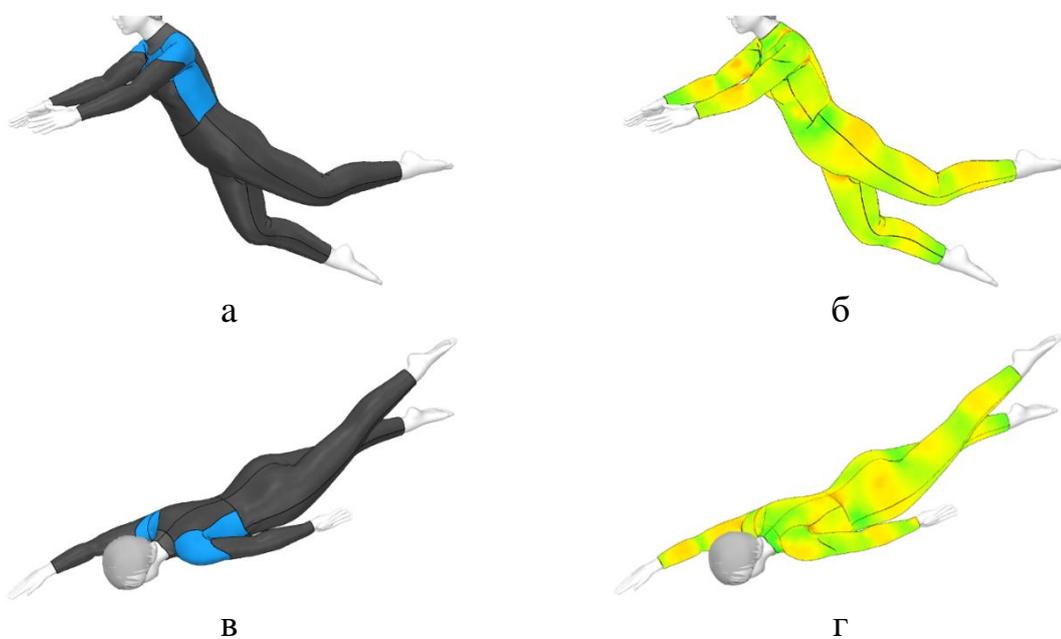


Рисунок Г.15 – Снимок экрана во время моделирования динамических действий плавания DW

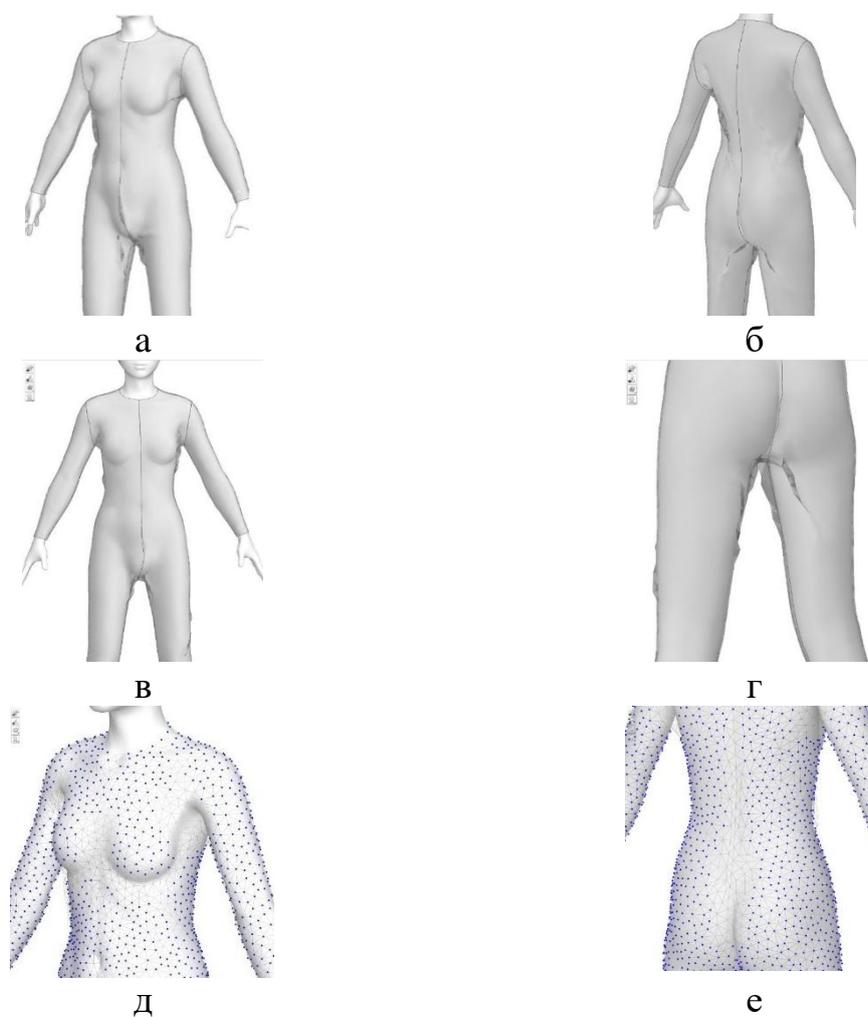


Рисунок Г.16 – Скриншот экрана во время примерки прототипа: а, б, в, г, - некоторые дефекты; д, е - точки контактного давления на основной сетке гидрокостюма

УТВЕРЖДАЮ

Директор
Компания "JINMING
(Китай) Швейная

D. Tianhui

" 9 " июль 2020 г.

УТВЕРЖДАЮ

Ректор ФГБОУ ВО "Ивановский
государственный политехнический
университет" (Россия)

Е.В. Румянцев

" 10 " июль 2020 г.

**АКТ производственной проверки результатов,
полученных в диссертационной работе У Синьчжоу**

Мы, нижеподписавшиеся, конструктор L. Li, технолог X. Weiguo от компании JINMING, с одной стороны, и заведующий кафедрой конструирования швейных изделий В.Кузьмичев и аспирант У Синьчжоу от ФГБОУ ВО "ИВГПУ", с другой стороны, составили настоящий акт о производственной проверке результатов, полученных при выполнении диссертационной работы "Совершенствование технологии проектирования женских костюмов для подводного плавания (Development of female wetsuit design process)".

Дата проверки – апрель 2020 – июль 2020 гг.

Объект внедрения – методика проектирования женских мокрых костюмов для подводного плавания типа DW.

Условия внедрения – проектирование и изготовление моделей женских мокрых костюмов из специального стирол-хлоропренового каучука (состава: полиэстер + 30% хлоропреновый каучук + промежуточный клеевой соединительный слой + 70% бутадиен-стирольный каучук + полиэстер).

Предприятию были переданы восемь комплектов чертежей восьми размеров.

Было изготовлено 10 костюмов типа DW с использованием оборудования предприятия.

Были проведены испытания всех костюмов путем примерок на энтузиастах подводного плавания, отзывы которых об эргономике костюмов и их посадке включали положительные оценки без замечаний.

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

От JINMIN

От ИВГПУ

Конструктор

L. Li

Технолог

X. Weiguo

JINMING Швейная Компания (Китай)

Заведующий кафедрой
конструирования швейных изделий

В.Е. Кузьмичев

Аспирант

У Синьчжоу

www.ivgpu.com