

На правах рукописи



У Синьчжоу (WuXinzhou)

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

05.19.04 - Технология швейных изделий

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени кандидата технических наук

Иваново - 2022

Работа выполнена на кафедре конструирования швейных изделий Института текстильной индустрии и моды ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет».

Научный
руководитель

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

Оппоненты

Черунова Ирина Викторовна, доктор технических
наук, профессор, профессор кафедры дизайна,
конструирования и технологии одежды, Институт
сферы обслуживания и предпринимательства
(филиал) федерального государственного
бюджетного образовательного учреждения высшего
образования «**Донской государственный
технический университет**», г. Шахты Ростовской
области

Гетманцева Варвара Владимировна, доктор
технических наук, профессор кафедры
художественного моделирования, конструирования и
технологии швейных изделий ФГБОУ ВО
«**Российский государственный университет имени
А.Н.Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)**»,
г. Москва

Ведущая организация

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

Защита диссертации состоится 28 июня 2022 г. в 12 часов на заседании диссертационного совета Д212.355.02 при ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет» по адресу: 153000 г. Иваново, Шереметевский пр., д. 21.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Ивановского государственного политехнического университета и на официальном сайте вуза <https://ds.ivgpu.com/dissertations/82>

Автореферат разослан ____ мая 2022 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
Д 212.355.02



Е.Н. Никифорова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

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), В.В.Гетманцевой (РГУ имени А.Н.Косыгина), И.В.Черуновой (ДГТУ) бодисканер использовали для проектирования одежды. Виртуальное 3D-моделирование использовали для проектирования одежды и объективной оценки индексов ее потребительских свойств в работах М. Го, 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 2017-2020 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, 2. Совершенствование процесса и методов проектирования одежды на основе использования рациональной размерной типологии населения, требований ЕСКД и широкого применения современной вычислительной

техники, 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, 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 шитья (склеивания деталей) 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 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 (HumanSolutions, 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.

Получены впервые следующие **научные результаты**:

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 обхватов фигуры материалами гидрокостюма.

3. Динамические изменения женских фигур в условиях нахождения под водой.

4. Новый метод проектирования женского гидрокостюма.

5. Цифровые двойники деформированных женских фигур.

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

Практическая значимость исследования заключается в разработке методик измерения человеческих фигур, выбора значений конструктивных прибавок для женских фигур разных полнотных групп и метода виртуального дизайна женского гидрокостюма с симуляцией динамической посадки и комфортного состояния под водой. Это поможет дизайнерам гидрокостюмов осуществлять быструю модификацию и оптимизацию чертежей, выбирать композиционные материалы, повысить производительность труда и учесть условия эксплуатации. Промышленная проверка новой методики осуществлена в производственных условиях (Ухань, Китай).

Достоверность результатов и выводов обеспечивается совпадением результатов экспериментальных и теоретических исследований, статистической адекватностью полученных уравнений для прогнозирования компрессионного давления, использованием современных измерительных приборов, положительными результатами производственных испытаний.

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); международная научно-практическая конференция "Моделирование в технике и экономике" (Витебск, 2016); научно-техническая конференция «Информационная среда вуза» (Иваново, 2017); всемирная текстильной конференции (Стамбул, Турция, 2018); Международной текстильной конференция АІТАЕ 2018 (Митилини, Греция, 2018); международная конференция по вычислительному моделированию и прикладной математике (Ухань, Китай, 2018); международная конференция «Advanced Materials, Electronicaland Mechanical Engineering» АМЕМЕ(Сямынь, Китай, 2020); международная конференция «Техника, технологии и образование» ІСТТЕ (Ямбол, Болгария, 2020); в образовательном цикле «Новые возможности для каждого» национального проекта «Образование» в курсе "Цифровые луки в виртуальном пространстве: художественное и промышленное проектирование 3D одежды в виртуальной реальности" (Иваново, ИВГПУ, 2020).

Основные результаты работы опубликованы в 12 работах, включая одну статью в журнале из перечня ВАК, шести статьях в журналах, входящих в базы WebofScience и Scopus, пяти тезисах и материалах конференций, общий объем которых составляет 4,035 п.л. (личный вклад 2,094 п.л.).

Структура диссертации. Диссертация состоит из 5 глав, изложена на 182 с., включает 18 таблиц, 65 рисунков, 5 приложений, 176 литературных источника.

СОДЕРЖАНИЕ

Во введении обоснована актуальность исследования, поставлены цели и задачи, сформулированы научная и практическая значимости полученных результатов.

В **первой главе** проведен обзор научной информации и проектно-практических исследований в соответствующей области. Суммированы научные знания по теме проектирования женской компрессионной одежды и дизайна гидрокостюмов, Выполнен сравнительный анализ современных методов проектирования компрессионной одежды с точки зрения формализации в условиях цифровых технологий. Для 300 современных гидрокостюмов, представленных на рынке, были проанализированы конфигурация линий внутреннего членения. В результате опроса 1000 членов китайского дайвинг-клуба установлено, что 57,5% считают гидрокостюм, купленный в магазине или заимствованный в клубе, не имеющим хорошей посадки на фигуре. В результате обзора сделан вывод, что современные методы проектирования женских гидрокостюмов используют ограниченный набор исходных антропометрических данных. Определена цель и сформулированы основные задачи исследования.

Во **второй главе** проведено антропометрическое исследование женских фигур с помощью бодисканера, разработан новый способ их группирования и определены динамические изменения размерных признаков фигур (результаты опубликованы в трех статьях).

Согласно опросу дайвинг-клубов, основными посетителями являются активные молодые люди, то была выбрана возрастная группа 18...27 лет в количестве 96 китайских женщин с ростом от 147...174 см и обхватом груди 73...105 см. Антропометрические данные получены бесконтактным способом бодисканирования или ручным контактным способом (на суше и под водой).

Периметр обхвата груди третьего (BG) делили точками «a» и «b» на две части – переднюю BG_F и заднюю BG_B , как показано на **рис. 1**.

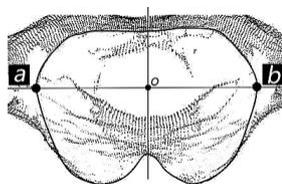


Рис. 1 – Определение положения антропометрических точек a и b для разделения обхвата груди третьего BG на BG_F и BG_B : a - положение симметричного сечения бюста; б - несимметричное сечение бюста

Традиционные полнотные группы Y, A, B, C были разбиты на два подтипа каждая. Следующие типы фигур включены в новую схему группирования:

- группа I включает четыре подтипа Y1, A1, B1, C1, для которых передний сегмент BG_F обхвата груди третьего больше заднего сегмента BG_B , $BG_F > BG_B$;

- группа II включает четыре подтипа Y2, A2, B2, C2 с противоположной ситуацией $BG_F < BG_B$.

На основе экспериментальных данных на рис.2 показаны профили базовых типов и соответствующих им подтипов.

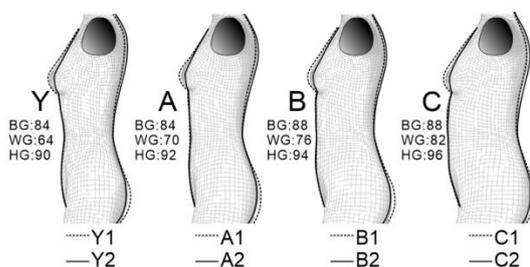


Рис.2 –Профили базовых типов(Y, A, B, C) и подтипов

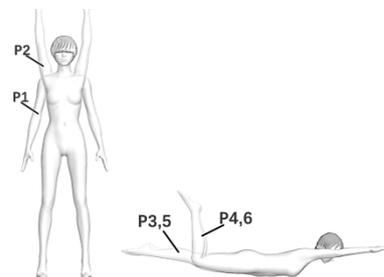


Рис.3 – Динамические позы

Согласно полученным результатам, наибольший удельный вес приходится на женские фигуры, %:тип А (A1 - 37,5, A2 - 12,5), за которым следуют типы Y (B1 - 10,4, B2 - 11,5), В (B1 - 14,6, B2 - 6,3) и С (C1 - 4,2, C2 - 3,0).

Разработанные подтипы торсов фигур создают возможность дополнительной градации гидрокостюма по форме, а также могут быть использованы для его индивидуального изготовления.

Динамические изменения размерных признаков фигуры регистрировали для различных положений тела на основе типичных движений при погружении в воду (рис. 3):

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

Положения тел P1-P6 соответствуют базовым движениям при плавании под водой. Чтобы выяснить, как каждая поза влияет на измерения, сравнивали средние различия DIF между измерениями одной и той же фигуры в разных позах: $DIF(m-n)_i$ - это разность между i -измерениями в положении m и положении n , например, $DIF(P2-P1)$. Два вида различий были названы ΔG_{DIF} или ΔL_{DIF} : ΔG_{DIF} представляет изменение обхвата (табл. 1), ΔL_{DIF} представляет изменение длины (табл. 2).

Таблица 1–Максимальные изменения обхватов ΔG_{DIF}

Подтипы	ΔG_{DIF} для полных обхватов, переднего (F) и заднего (B) 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
<i>Среднее значение, S.D.</i>	<i>3,1±0,8</i>	<i>-13,0±1,8</i>	<i>18,4±1,0</i>	<i>-2,1±0,8</i>	<i>-4,4±1,5</i>	<i>0,6±2,5</i>	<i>-2,1±0,5</i>	<i>0,3±2,0</i>	<i>-6,4±0,9</i>

Примечание: BG - обхват груди третий, WG - обхват талии, HG - обхват бедер

Таблица 2–Максимальное изменение длин ΔL_{DIF}

Подтипы	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>Среднее значение, S.D.</i>	<i>28,6 ± 4,9</i>	<i>10,6 ± 2,1</i>	<i>-15,5 ± 3,7</i>	<i>-32,7 ± 3,3</i>	<i>32,0 ± 1,9</i>	<i>-40,7 ± 4,1</i>	<i>1,2 ± 1,7</i>

Примечание: FNP-WL - длина дуги от верхнегрудной точки до уровня обхвата талии спереди; BNP-WL –длина спины до талии с учетом выступа лопаток; W_{BF}–ширина верхней части груди спереди; W_{BB} -ширина верхней части груди сзади; L_{Cr}– дуга через паховую область; SL –расстояние от подмышечной впадины до обхвата талии сбоку; W_{SP}–дуга соединяющая плечевые точки

Процедура деформации цифровых копий торсов женских фигур с учетом вычисленных деформаций была выполнена в 3dsMax путем редактирования полигональной сети исходного аватара для построения и контроля его деформированного варианта (**рис. 4**).

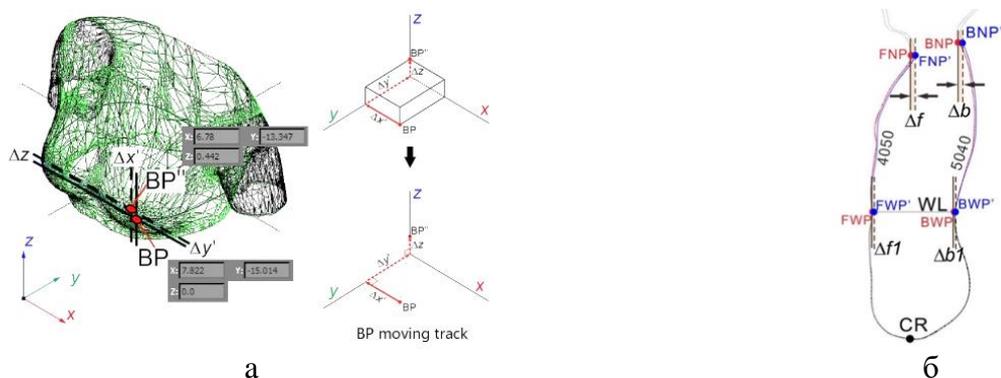


Рис. 4 –Цифровой двойник женского торса: а – схема редактирования полигональной сетки до и после изменения положения рук; б – сагиттальная плоскость до и после наклона торса вперед

Полученные результаты составили антропометрическую базу данных для проектирования гидрокостюмов в условиях эксплуатации.

В третьей главе выполнены инструментальные измерения и получен аналитический вид зависимостей между изменением обхватов женских фигур и деформациями растяжения материала гидрокостюма (результаты опубликованы в одной статье).

Для моделирования компрессионного давления на мягкие ткани тела оборачивали материалом шириной 10 см вокруг измеряемого участка, для создания компрессионного давления в допустимых пределах; значения допустимых давлений были установлены из достоверных опубликованных источников, в которых исследовали спортивную одежду. Исследовали четыре вида композиционных трехслойных композиционных материалов *M1*, *M2*, *M3*, *M4*, которые используют для пошива гидрокостюмов. При растяжении материалов в одноосном направлении одновременно измеряли изменение (уменьшение) обхватов тела ΔG (максимальное уменьшение составило 14,8 %) и удлинение материала E (максимальное удлинение составило 26,5 %) до момента достижения критического давления (рис. 5,6).



Рис. 5 – Изменение обхвата тела под действием растянутого материала

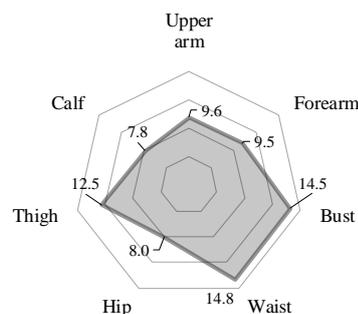


Рис.6 – Деформация обхватов тела ΔG_{max} , %

Наибольшие значения E_{max} и P_{max} приведены в табл. 3.

Таблица 3 – Результаты измерения удлинения материалов и создаваемого ими компрессионного давления

Обхваты	Максимальное удлинение материалов E_{max} , %			
	M1	M2	M3	M4
Плечо (upper arm)	17,8	15,5	11,4	16,7
Предплечье (forearm)	17,5	15,6	12,5	15,8
Грудь (bust)	22,5	16,7	13,0	18,4
Талия (waist)	22,0	15,0	11,9	15,5
Ягодица (hip)	26,5	17,5	15,6	19,5
Бедра (thigh)	21,5	13,6	10,8	17,8
Икры (calf)	22,6	12,8	11,4	17,5
Среднее значение удлинения	$21,5 \pm 3,1$	$15,2 \pm 1,6$	$12,4 \pm 1,6$	$17,3 \pm 1,4$
	P_{max} , kPa			
Максимально-достигнутое допустимое	2,32	2,45	2,80	2,39

давление				
Допустимое давление в спортивной одежде [по достоверным источникам]	не более 3,11			
Среднее значение	$1,90 \pm 0,30$	$1,97 \pm 0,20$	$2,39 \pm 0,23$	$1,92 \pm 0,17$

Рис. 6 и **табл. 3** показывают, что диапазоны уменьшения обхватов ΔG_{\max} составляют $-(7,8...14,8)$ %, удлинений E_{\max} ($10,8...26,5$)% и давления P_{\max} ($1,90...2,39$) кПа.

Для параметризации способности композиционных материалов в растянутом положении сжимать мягкие ткани был предложен коэффициент сжимаемости материала RC_m

$$RC_m = |(E_{\max} / \Delta G_{\max})|, \quad (1)$$

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

Значения RC_m составили в порядке убывания: для материала М1 – 2,09, М4 – 1,69, М2 – 1,48, М3 – 1,21. RC_m можно использовать:

– для расчета и нахождения конструктивной прибавки E_{\min} и построения чертежей деталей конструкции гидрокостюма на разных антропометрических уровнях; чем больше значение RC_m , тем выше значение E_{\min} (уравнение 2);

– для классификации участков женских фигур по способности к деформации (сжимаемости): чем больше значение RC_m , тем труднее обхват сжимается материалом;

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

$$E_{\min} = RC_m \cdot \Delta G_{DIF} = (E_{\max} \cdot \Delta G_{DIF}) / \Delta G_{\max}, \quad (2)$$

где E_{\min} - минимальное значение конструктивной прибавки, %; RC – степень сжатия; ΔG_{DIF} – изменение значения обхватов в динамических позах (из главы 2), %

E_{\min} был рассчитан для размерных признаков фигур разных полнотных групп, которые используются для построения чертежа гидрокостюма (**табл. 5**).

Таблица 5 – E_{\min} для 7 участков 8 подтипов фигур, %

Размерный признак	Значения E_{\min} для разных типов фигур							
	Y1	Y2	A1	A2	B1	B2	C1	C2
Передний сегмент обхвата груди BG_F	-13,1	-13,3	-17,4	-18,2	-14,1	-18,0	-14,7	-13,7
Обхват талии WG	-0,9	-1,0	-3,0	-3,3	-2,6	-2,7	-2,3	-2,4

Передний сегмент обхвата талии WG_F	-4,7	-2,5	-4,1	-5,2	-4,4	-3,6	-5,3	-7,9
Обхват бедер HG	-4,4	-5,0	-7,6	-6,4	-7,9	-3,8	-7,6	-5,9
Задний сегмент обхвата бедер HG_B	-20,2	-15,2	-22,5	-16,1	-19,6	-16,7	-17,3	-21,6
Обхват бедра	-1,9	-1,7	-1,6	-2,3	-0,7	-2,1	-3,2	-3,0
Обхват икры	-4,7	-4,0	-4,2	-4,0	-5,0	-2,5	-7,2	-5,2

Установлено, что сжимаемость обхватов исследованных фигур возрастает в следующем порядке: талия–грудь– бедро– плечо–предплечье – икры – ягодица.

Получены диапазоны конструктивных прибавок E_{min} для восьми типов фигур, обеспечивающих плотное прилегание гидрокостюма к фигуре и свободу динамичных движений.

В четвертой главе были изучены показатели физико-механических свойств четырех материалов $M1...M4$ на приборах KES (Япония) и получены уравнения для прогнозирования компрессионного давления (результаты опубликованы в одной статье).

Для расчета допустимого давления материала P_{max} были выбраны следующие индексы KES: LT - жесткость при растяжении, WT - энергия растяжения, $cH \cdot cm/cm^2$; 2HG - упругость при незначительном сдвиге, cH/cm , F15 - усилие растяжения материала для удлинения на 15 %..После измерения показателей свойств был проведен статистический анализ для установления зависимостей между ними (табл.6).

Таблица 6 – Коэффициенты корреляции между P_{max} , E_{max} и индексами KES

KES индексы	Максимальное давление P_{max}		Удлинение материала E_{max}	
	вдоль	поперек	вдоль	поперек
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
F15	0,959	-	-	-

Получены двухфакторные уравнения (3...7) с коэффициентом $sig. < 0,05$ и коэффициентом корреляции Пирсона $R-Square > 0,930$:

вдоль (вдоль вязаных столбиков)

$$P_{max} = 2.7 - 78.81 / F15, \quad (3)$$

$$P_{max} = 1.2 + 1.95 / WT, \quad (4)$$

поперек (поперек вязаных столбиков)

$$P_{\max} = 0.8 + 2.45 / WT, \quad (5)$$

$$P_{\max} = 4.5 - 1.2 / LT, \quad (6)$$

$$P_{\max} = e \left(1 - \frac{1.96}{2HG_w} \right) \quad (7)$$

где $e = 2,718$; WT и LT – индексы показателей свойств материала при растяжении; 2HG – параметр сдвига материала. P_{\max} – максимальное значение давления. С помощью уравнений (3...7) можно прогнозировать давление в интервале $0 < P_{\max} < 3$ кПа.

Таким образом, полученные уравнения можно использовать для прогнозирования диапазона давления.

В пятой главе разработаны новая методика проектирования женского гидрокостюма, апробирован способ верификации возникающего давления в виртуальной трехмерной среде и проведена проверка в реальных условиях (результаты опубликованы в пяти статьях).

В качестве основы была взята развертка гидрокостюма с нулевыми прибавками (рис. 7 а). На ее основе был построен чертеж базовой конструкции гидрокостюма (initial prototype) по результатам проведенных исследований (рис. 7 б).

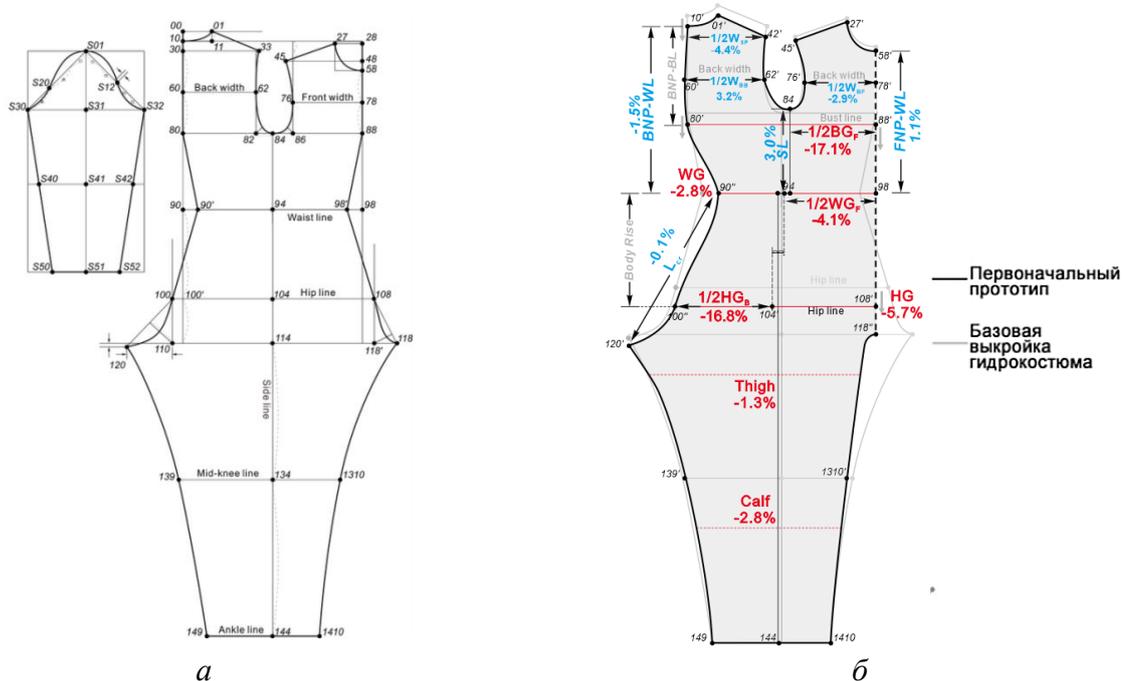


Рис. 7– Исходный прототип с нулевыми прибавками (а) и схема чертежа гидрокостюма (б)

Схема нового чертежа учитывает изменения размерных признаков ΔG_{DIF} , ΔL_{DIF} и конструктивные прибавки E_{min} . E_{min} , используемая при построении чертежа, учитывает новые динамические антропометрические данные, показатели свойств материала, давления сжатия, деформационные свойства материала одежды.

Гидрокостюмы в виртуальной среде генерировали в программах CIO 3D и 3dsMax. Процедура деформации цифровых реплик DR торса женской была применена для обоснования конфигурации линий внутреннего членения путем измерения абсолютных значений разности давлений.

На **рис. 8** показан образец гидрокостюма, цифровая реплика DR фигуры и результаты виртуальной примерки.

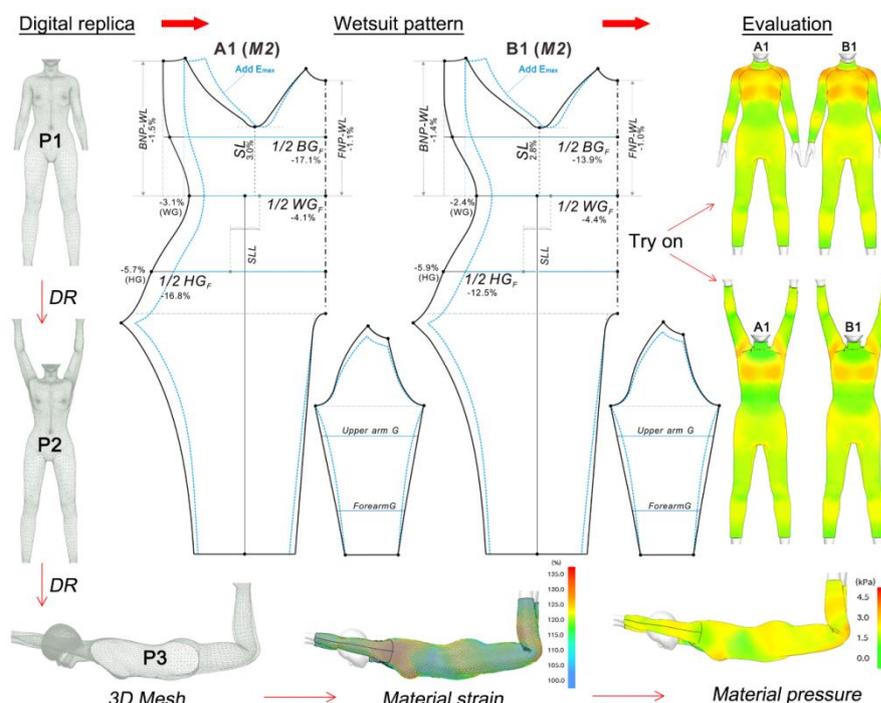


Рис. 8—Этапы виртуального моделирования в программе CLO3D

Оптимизированный дизайн шаблонов гидрокостюма показан на **рис. 9**.

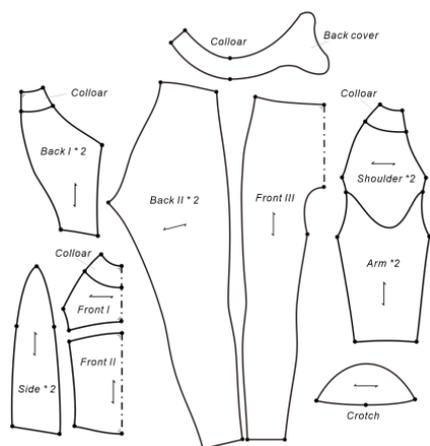


Рис. 9— Рабочая конфигурация деталей гидрокостюма



Рис. 13— Примерь DW1 и DW2 из M2 и M3

Результаты виртуальной проверки показали, что гидрокостюм имеет высокую степень комфортности и обеспечивает допустимое давления в статике и динамике.

Затем была проведена промышленная проверка новой технологии в условиях швейной компании JINMING (Ухань, Китай) путем изготовления экспериментальной партии из 10 гидрокостюмов (рис. 10). Нарис. 10 показаны гидрокостюмы из двух материалов с хорошей посадкой: в костюмах нет слабины материала и есть достаточная свобода для движений.

Субъективную оценку ощущений проводили в соответствии с 7–уровневой шкалой Лайкерта: от 1 «очень сильно неудовлетворен» до 7 «очень удовлетворен». Статические и динамические результаты оценки существующего гидрокостюма имеют низкий рейтинг удовлетворенности (в среднем 4,1 в статическом и 3,0 в динамическом состояниях), а сам костюм имеет слабины в областях колена, груди, талии, спины, плеча и предплечья.

Статические и динамические результаты экспертной оценки нового показали средний результат 6,7 балла. Это оценка достаточна для начала массового производства гидрокостюмов.

На рис.11 показаны фотографии, сделанные во время испытания костюма в центре профессиональной подготовки по дайвингу –Wuhan Diving Center (Ухань, Китай), который сотрудничает с PADI® Dive Center. Реальный продукт имеет хорошую степень подгонки с хорошими функциональными показателями.



Рис.11– Испытания костюма в бассейне

Таким образом, доказаны преимущества разработанного гидрокостюма, полученного по усовершенствованной технологии проектирования, и возможность переноса результатов проектирования системы "аватар– цифровой гидрокостюм" в виртуальную среду.

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 том

числе с позиций исследования изменений антропометрических данных и функциональной структурной оптимизации.

2. Разработан новый способ группирования женских фигур и сформирована база данных из необходимого набора антропометрических измерений, включающая данные о динамических положениях тела при плавании под водой. Установлены участки наибольших динамических изменений фигуры при выполнении движений во время плавания.

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

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

5. Найдены аналитические виды зависимостей 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 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 конфигурации конструктивных линий гидрокостюма с позиций 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.

Основные результаты работы опубликованы:

в журналах из перечня ВАК:

1. У, С. Алгоритм проектирования костюма для подводного плавания / Синьчжоу У, В. Е. Кузьмичев // **Известия вузов. Технология текстильной промышленности.** – 2019. - № 3. – С. 121-127 (0,5/0,25 п.л.).

в журналах, индексируемых Web of Science и Scopus:

2. Wu X. A design of wet suit based on 3D body scanning and virtual technologies (Проектирование костюмов для подводного плавания с использованием виртуальных технологии и бодисканирования) / X.Wu, V.E. Kuzmichev // **International Journal of Clothing Science and Technology.** – 2021. - No. 4 (Vol. 33). – С.477- 494 (0,5/0,25 п.л.).

3. Wu X. Development of female torso classification and method of pattern shaping (Совершенствование классификации женских торсов и метода формообразования чертежей) / X.Wu, V.E. Kuzmichev, T. Peng // **AUTEX Research Journal** – 2018. - № 18(4). - С. 419-428 (0,5625/0,1875 п.л.).

4. Wu X. Study on the body girth dynamic size for wet suit design (Изучение обхватов фигур в динамике для проектирования прибавок в костюме для подводного плавания) /X.Wu, V.E. Kuzmichev // **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.** IOP Publishing, (International Textile and Advanced Engineering Conference AITAE, Greece). – 2018. - № 459(1), No. 012085 (0,25/0,125 п.л.).

5. Wu X. Design and Dynamic Simulation of 3D Virtual Wet suit (Проектирование и динамическая виртуальная симуляция костюмов для подводного плавания) /X.Wu, V.E. Kuzmichev // **DEStech Transactions on Computer Science and Engineering.** (2018 International Conference on Computer Science and Information Engineering), Wuhan, China. –2018. –№ 9. - С. 142-145 (0,25/0,125 п.л.).

6. Wu X. Computer technologies for designing close-fitting apparel with specific properties / Wu X., V.E. Kuzmichev// **DEStech Transactions on Computer Science and Engineering.** (2020 International Conference on Advanced Materials, Electronical and Mechanical Engineering), Xiaman, China. – 2020. – № 9. - С. 30–35 (0,375/0,1875п.л.).

7. Wu X. Research on the trousers with zero loose quantity pattern (Исследование брюк с нулевыми конструктивными прибавками) /Xin Zhou Wu, Jingsong Du, Yunxiang Lu// **Journal of Beijing Institute of Fashion Technology: Natural Science Edition.** – 2015. – № 35. – С. 33-39 (0,4375/0,2188 п.л.).

материалах конференций

8. Wu X. Prediction of wet diving suit comfortability (Прогнозирование комфорта костюмов для подводного плавания)/X.Wu, V.E. Kuzmichev // 18th AUTEX International conference, Turkey. –2018. –№ 6. – С. 494-499 (/0,375/0,1875п.л.).

9. У Синьчжоу. Инструментальное исследование деформации фигур под влиянием костюма для подводных видов спорта / Синьчжоу У, В. Е. Кузьмичев // **Моделирование в технике и экономике: материалы межд. науч.-практ. конф.**, Витебск, ВГТУ. –23-24 марта 2016. – С.548-550 (0,375/0,1875 п.л.).

10. 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 (0,25/0,125 п.л.).

11. 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. – С. 32-35 (0,25/0,125 п.л.)

12. 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 (0,25/0,125 п.л.).

В опубликованных работах полностью отражена суть исследований, описаны этапы работы, теоретическая и экспериментальные части.

Подписано в печать 26.04.2022. Формат $1/16$ 60x84.

Бумага писчая. Плоская печать.

Усл.печ.л. 1,05. Уч.-изд.л. 1,0. Тираж 80 экз. Заказ №_____

ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет»

Центр печати УИРиК

153000, г. Иваново, Шереметевский пр., 21