

На правах рукописи

严佳琪

Янь Цзяци (Yan Jiaqi)

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ВИРТУАЛЬНОГО
ПРОЕКТИРОВАНИЯ МУЖСКИХ СОРОЧЕК
С ПРОГНОЗИРУЕМЫМ УРОВНЕМ КАЧЕСТВА ПОСАДКИ**

Научная специальность 05.19.04 — Технология швейных изделий

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Иваново – 2021

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

Научный
руководитель

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

Официальные
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**» в г. Шахты Ростовской области, г. Шахты

Москвин Алексей Юрьевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры конструирования и технологии швейных изделий ФГБОУ ВО "Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна", г. Санкт-Петербург

Ведущая
организация

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

Защита состоится 27 мая 2021 г. в 13 часов на заседании диссертационного совета Д 212.355.02 при ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет»: 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/61>

Автореферат разослан _____ апреля 2021 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
Д 212.355.02



Е.Н.Никифорова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность выбранной темы. Цифровизация процессов моделирования и конструирования процессов одежды, которая стала реальностью в швейном производстве, позволяет пересмотреть содержание многих традиционных процессов. Так называемое адресное проектирование или MtM (made-to-measure) реализуют для изготовления одежды на фигуры нетипового телосложения в условиях промышленного производства; по содержанию эта технология является промежуточным звеном между готовой (ready-to-wear, RtW) и индивидуальной (bespoke) одеждой. Особенностью индивидуального проектирования является иное содержание антропометрической базы данных о фигуре потребителя, включающей дополнительные размерные признаки. В зависимости от полноты такой базы изготавливаемая одежда будет иметь разные показатели соразмерности и сбалансированности.

Благодаря появлению технологии бодисканирования и достоинствам современных САПР объем антропометрической информации о морфологии современных фигур значительно возрос, что позволяет внести количественные и качественные изменения в процессы кастомизированного проектирования и переместить его в виртуальную среду.

Степень разработанности темы. В настоящее время подобное направление развивается во многих странах с высоким уровнем цифровизации повседневной жизни (Китай, США, Европа, Япония и др.). Основное преимущество цифровой кастомизации заключается в возможности проектировать и демонстрировать одежду с высоким уровнем качества посадки на конкретном потребителе, что открывает возможности экономии ресурсов, работы по принципу удаленного доступа, увеличения потребительских сегментов.

Однако, успешное развитие этого направления требует формализации профессиональных знаний в области антропометрии, конструировании одежды, текстильного материаловедения, квалиметрии виртуальных объектов. Научные исследования в области формализации профессиональных конструкторских знаний проводят ученые и практики **S.-E. Jang** (Корея), **K. Liu, B. Gu** (Китай), **K. Kim** (Япония), **Nadia Magnenat Thalmann** (Сингапур), **Pascal Bruinex** (Франция), **Е.Г. Андреева, И.Ю. Петросова, В.Гетманцева** (РГУ имени А.Н. Косыгина), **Е.Я. Сурженко, А.Ю. Москвин, М.В. Москвина**, СПбГУПТД (Россия), кафедра КШИ ИВГПУ. Полученные результаты становятся доступными другим исследователям благодаря регулярным публикациям в журналах *Textile Research Journal*, *International Journal of Clothing Science and Technology*, *The Journal of the Textile Institute*, входящих в международно-аналитическую базу WoS, что позволяет говорить о сформировавшемся научном направлении в области цифровизации кастомизированного проектирования одежды. Практическое воплощение научных результатов реализовано в программных продуктах для

кастомизированного проектирования CLO 3D, Marvelous Designer (Корея), Assyst Vidya (Германия), Lectra (Франция), Browzwear (Сингапур), EFI Optitex (США), TUKA 3D (Япония), а возможности интернет-платформ BrooksBrothers, ProperCloth, Indochino, Woodies (США), Budd (Великобритания), bivolino (Бельгия), Uniqlo (Япония), Spire&Mackay (Канада), Apposta (Италия), TailorStore (Швеция), MatchU, RedCollar (Китай) демонстрируют рост объемов продаваемой одежды.

Полученные результаты часто основаны на личном опыте исследователей, особенностях национальных систем проектирования, разрозненных технических и программных продуктах, что не позволяет пока говорить о наличии универсального аппаратно-программного комплекса с научно обоснованной совокупностью базой данных обо всех элементах и принципах их генерирования в виртуальную систему "фигура - одежда". Поэтому развитие этого научного направления по разработке новой технологии индивидуального проектирования в цифровой среде (e-bespoke) является актуальным с позиций дальнейшей цифровизации всех областей производства и потребления.

Работа выполнена в соответствии с пунктами паспорта ВАК научной специальности 05.19.04 – Технология швейных изделий (технические науки): 1 «Разработка теоретических основ и установление общих закономерностей проектирования одежды на фигуры типового и нетипового телосложения», 3 «Разработка математического и информационного обеспечения систем автоматизированного проектирования одежды», 5 «Совершенствование методов оценки качества и проектирование одежды с заданными потребительскими и технико-экономическими показателями».

Целью работы является разработка технологии e-bespoke кастомизированного проектирования мужских сорочек в виртуальной среде.

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

1. Провести антропометрические исследования мужских фигур для формирования новой совокупности размерных признаков, достаточных для описания морфологических особенностей торса.

2. Разработать типовые модели участков торса мужской фигуры для согласования их морфологических особенностей с условиями разворачивания на плоскости, ответственных за качество посадки.

3. Усовершенствовать методику конструирования мужских сорочек.

4. Разработать систему критериев для оценки качества посадки мужских сорочек.

5. Изучить влияние показателей свойств тканей на особенности пространственного формообразования сорочек с разными показателями ОПФ.

6. Разработать алгоритм проектирования мужских сорочек в виртуальной среде.

7. Провести производственную апробацию полученных результатов.

Объект исследования – мужские фигуры, сорочки с разной объемно-пространственной формой, процесс проектирования.

Предмет исследования – размерные признаки торса мужских фигур, показатели свойств тканей, конструктивные параметры чертежей.

Область исследования - процесс проектирования мужских сорочек.

Методы и средства исследования. Для исследования отдельных элементов и всей системы "мужская фигура - сорочка" использовали бесконтактный метод измерения мужских фигур, методы генерирования виртуальных объектов, метод сенсорного анализа для фиксации движений глаз в режимах нейро технологий eye-tracking.

Для проведения экспериментальных исследований был сформирован аппаратно-программный комплекс, обеспечивающий генерирование и передачу цифровой информации, получаемой на каждом этапе исследований, в который вошли шесть компонентов:

(1) лазерный бесконтактный 3D бодисканер VITUS Smart XXL для получения сканатаров мужских фигур согласно стандарту ISO 20685-2010(E);

(2) программа Anthroscan (Human Solutions, Германия) для обработки антропометрической информации;

(3) САПР ET (BUYI Technology, Китай) для оцифровывания чертежей;

(4) измерительные комплексы KES-F (Kawabata Evaluation System for Fabrics) или FAST (Fabric Assurance by Simple Testing) для тестирования текстильных тканей;

(5) компьютерная программа CLO 3D, версия 5.0.156.38765, (CLO Virtual Fashion, Республика Корея) для генерирования статичных и динамичных виртуальных объектов.

Статистическую обработку результатов измерений проводили с помощью программы SPSS (IBM, США).

Научная новизна работы состоит в формировании совокупности размерных признаков, необходимых и достаточных для генерирования плоских разверток деталей в соответствии с прогнозируемым объемно-пространственным положением сорочки и морфологией верхней части торса мужской фигуры.

Положения, выносимые на защиту:

1. Антропометрическая база данных, получаемая после измерения вертикальных и горизонтальных сечений торсов мужских фигурах.

2. Алгоритм генерирования плоских разверток торсов мужских фигур.

3. Структура аппаратно-программного комплекса для проектирования и генерирования виртуальных двойников систем «мужская фигура - сорочка».

Практическая значимость работы состоит в создании технологии e-bespoke (адресного) виртуального проектирования мужских сорочек с прогнозируемыми показателями посадки на фигурах разных морфологических типов. Разработанная антропометрическая база данных может быть использована для разработки новых маркировок одежды в интернет-магазинах и совершенствования методов плоскостного и объемного

проектирования. Результаты работы переданы и внедрены на ООО Texel (Москва), разрабатывающем программное обеспечение для виртуального проектирования кастомизированной одежды.

Теоретическая значимость состоит в создании теоретических и экспериментальных основ виртуального проектирования мужских сорочек. Часть теоретических результатов введена в международный научный журнал и включена в монографию "Anthropometry, Apparel Sizing and Design (Second Edition)", Edited by Norsaadah Zakaria and Deepti Gupta. - The Textile Institute Book Series. -Duxford, United Kingdom, Cambridge, United States, Kidlington, United Kingdom, Woodhead Publishing, 2020,415 p. - Глава 9. Evaluation of pattern block for fit testing (Контроль качества чертежей для оценки качества посадки одежды), с. 217-251, <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102604-5.00009-3>.

Степень достоверности результатов диссертационной работы обеспечена согласованностью результатов экспериментальных исследований исходных элементов - мужских фигур, конструкций сорочек, текстильных тканей, обеспечивших получение мужских сорочек с прогнозируемым качеством посадки, правильным формированием обучающей выборки из сканированных фигур, положительными результатами производственной проверки.

Апробация результатов. Основные результаты работы были доложены на 11 конференциях: 16th World Textile Conference AUTEX 2016, 8-10 июня 2016 г. (**Любляна, Словения**); 7th International conference "3D Body scanning technologies", 30 ноября - 1 декабря 2016 г. (**Лугано, Швейцария**); XXIII и XXIV международных научно-технических конференциях "Информационная среда вуза", 23-25 ноября 2016 г., 22-23 ноября 2017 г. (**Иваново**); Всероссийская научная студенческая конференция "Инновационное развитие легкой и текстильной промышленности ИНТЕКС 2016", 5-6 апреля 2016 г. (**Москва**); межвузовская научно-техническая конференция аспирантов и студентов (с международным участием) "Молодые ученые -развитию текстильно-промышленного кластера" (ПОИСК), 2016, 2019, 2020 (**Иваново**); 17th World Textile Conference AUTEX 2017 Textiles – Shaping the Future", июнь 2017 г. (**Корфу, Греция**); 18th World Textile Conference AUTEX 2018, 21-23 июня 2018 г. (**Стамбул, Турция**); Aegean International Textile and Advanced Engineering Conference AITAE 2018, 5-7 сентябрь 2018 г. (**Митилини, Греция**); международная конференция "Техника, технологии и образование" (International Conference on Technics, Technologies and Education) ICTTE 2020, 5-6 ноября 2020 г. (**Ямбол, Болгария**); 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", 2018 г. (**Иваново, ИВГПУ**); международная конференция "Техника, технологии и образование" (International Conference on Technics, Technologies and Education) ICTTE 2020, 5-6 ноября 2020 г. (**Ямбол, Болгария**); в образовательном цикле

«Новые возможности для каждого» национального проекта «Образование» в курсе "Цифровые луки: художественное и промышленное проектирование 3D одежды в виртуальной реальности", 2020 г. (Иваново, ИВГПУ).

Основные результаты работы опубликованы в 13 печатных работ, из них шесть в изданиях, индексируемых в международных цитатно-аналитических базах данных Web of Science и Scopus, семь в материалах конференций различных уровней.

Структура и объем диссертационной работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и приложений. Содержание работы изложено на 238 страницах машинописного текста, включая 72 рисунков и 39 таблицы. Список использованных источников насчитывает 171 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ

Во **введении** обосновывается актуальность и степень научно-теоретической разработанности проблемы; сформулированы цели и задачи исследования, приведена характеристика методов и средств исследования, сформулированы выносимые на защиту положения, раскрыты научная новизна, теоретическая и практическая значимость диссертации, представлена ее структура.

В **первой главе** выполнен анализ выбранной научной проблемы:

- проанализированы подходы к оценке качества посадки,
- обосновано применение САПР CLO 3D для работы с оцифрованными изображениями мужских фигур,
- выбраны объекты исследования,
- обоснованы методы и средства исследования,
- сформулирована цель и задачи.

Показано, что с помощью цифровых двойников можно воспроизвести множество ситуаций, которые имеют место при проектировании, изготовлении в материале и последующей внешней оценке новой системы "фигура-одежда". Цифровой двойник системы "фигура-одежда" может быть получен из следующих элементов:

1) виртуальный клон типовой фигуры + чертеж базовой или модельной конструкции;

2) виртуальный двойник фигуры реального потребителя + чертеж модельной конструкции, построенный по размерным признакам типовой или индивидуальной фигуры. Эта схема наиболее соответствует ожиданиям потребителя относительно кастомизированной одежды и именно она выбрана для разработки в диссертационной работе.

Во **второй главе** сформирована антропометрическая база данных, необходимая и достаточная для описания морфологических особенностей мужских фигур с перспективой их применения в конструировании сорочек (результаты опубликованы в трех работах).

Обучающая антропометрическая выборка была сформирована из результатов сканирования 156 молодых мужчин (Китай, Россия) без видимых морфологических деформаций. Каждый виртуальный клон был представлен в виде 3D облачного файла (.obj) и обработан с помощью программного обеспечения Anthroscan с последующим его преобразованием в виртуальную человеческую фигуру (.fbx) с помощью Adobe Mixamo.

Фигуры были сгруппированы согласно основным размерным признакам (рост, полнота и др.) китайской типологии по типам Y (95 чел.), A (55 чел.), B (6 чел.). Поскольку Y и A типы представлены наиболее полно, то они были выбраны в качестве основных субъектов исследования. Достаточность объема выборок была проверена с помощью статистических критериев. Морфологические характеристики фигур приведены в **табл.1**.

Таблица 1 - Размерные признаки мужских фигур

Статистика	Размерные признаки					
	рост, см	вес, кг	индекс массы тела BMI, кг/м ²	обхват груди третий, см	обхват талии, см	обхват бедер, см
Интервал	156.1...197. 7	48...93. 3	17.3...27. 8	76.4...123. 9	61.9...99. 8	80.4...114. 9
Среднее значение	177.0	71.9	22.9	97.5	77.3	95.5
Стандартное отклонение	8.2	8.1	2.0	7.9	7.2	5.7

После получения виртуальных клонов фигур их импортировали в Mixamo для преобразования в виртуальные двойники. Измерения виртуальных двойников проводили после разметки основных антропометрических точек (плечевой *SP*, шейной точки спереди ШТп, шейной точки сбоку ШТб, седьмого шейного позвонка ШТз) и уровней (груди, талии, бедер) в секущих фигуру плоскостях в Rhinoceros. На **рис.1** показаны схемы измерений: в сагиттальной плоскости через ШТб; в плоскости, перпендикулярной сагиттальной (рис.1, *а*); корональной плоскости через обе точки ПТ(рис.1, *б*); горизонтальными через уровни груди, талии и бедер (рис.1, *в*).

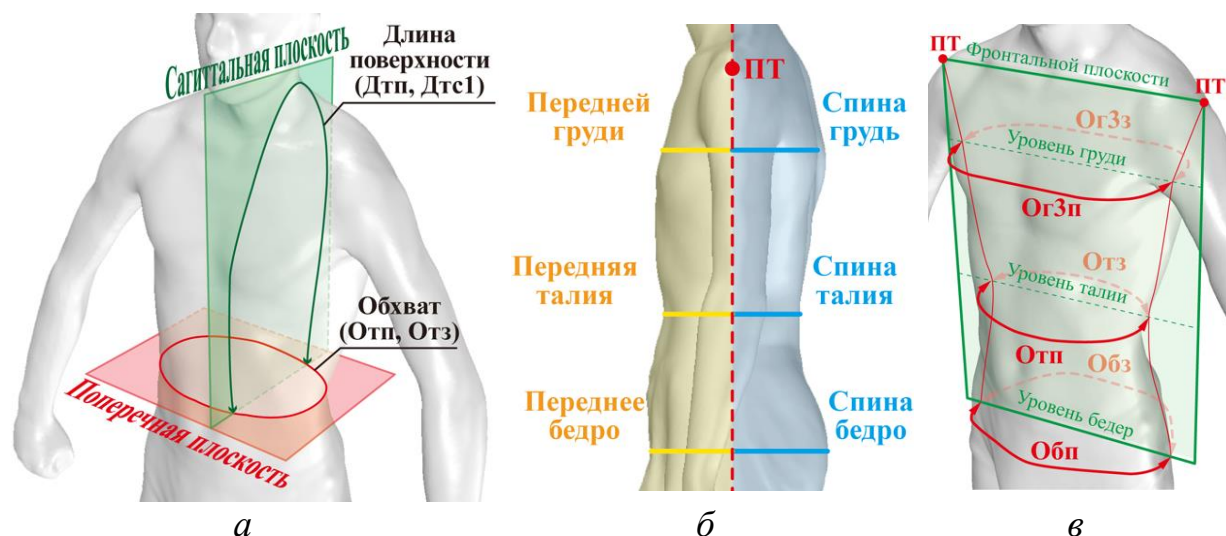


Рис.1 - Схемы измерения фигуры сагиттальной плоскости и перпендикулярной плоскости (а), корональной плоскости (б) и горизонтальной плоскости (в)

В общей сложности была сформирована номенклатура из 15 известных и 13 новых размерных признаков. Поскольку новые размерные признаки не адаптированы к известным алгоритмам построения чертежей, то были разработаны алгоритмы их включения в графоаналитические схемы построения индивидуальных чертежей. Основой их применения служили графоаналитические модели отдельных фрагментов опорных участков фигур (базовый обхват шеи, плечевой пояс), непосредственно влияющие на соразмерность одежды и ее пространственную ориентацию. Схемы параметризации перечисленных участков с использованием новых размерных признаков и их последующего применения для построения конструктивных линий горловины и плечевых линий показаны на **рис.2**:

антропометрические линии		конструктивные отрезки	
Вштсб-Вштсп	разность (Вштсб – Вштсп)	КП- PPN _F	высота горловины полочки
dшпзп	передняя часть передне-заднего диаметра шеи		
PPN _F	проекция полуобхвата шеи спереди		
Вштсз- Вштсб	разность (Вштсз – Вштсб)	КП- PPN _B	высота горловины спинки
dшпзз	задняя часть передне-заднего диаметра шеи		
PPN _B	проекция полуобхвата шеи сзади		
dшпоп	поперечный диаметр шеи	КП- dшпоп	ширина горловины полочки
Ошп	доля обхвата шеи спереди	КП-Ошп	длина горловины полочки
Ошз	доля обхвата шеи сзади	КП-Ошз	ширина горловины спинки
Шп	ширина плечевого ската	КП-Шп	длина плечевой линии

Рптштп	расстояние от плечевой точки до шейной точки спереди	КП-Рптштп	расстояние между вершиной линии полузаноса и конечной точкой линии плечевой линии
Рптштсз	расстояние от плечевой точки до шейной точки сзади	КП-Рптштсз	расстояние между вершиной средней линии спинки и конечной точкой линии плечевой линии

Разработанные геометрические модели позволили определить условия использования новых размерных признаков для построения контурных и внутренних линий чертежа с учетом морфологических особенностей каждой фигуры. Аналогичные графоаналитические модели были разработаны для торса фигуры и стана сорочки.

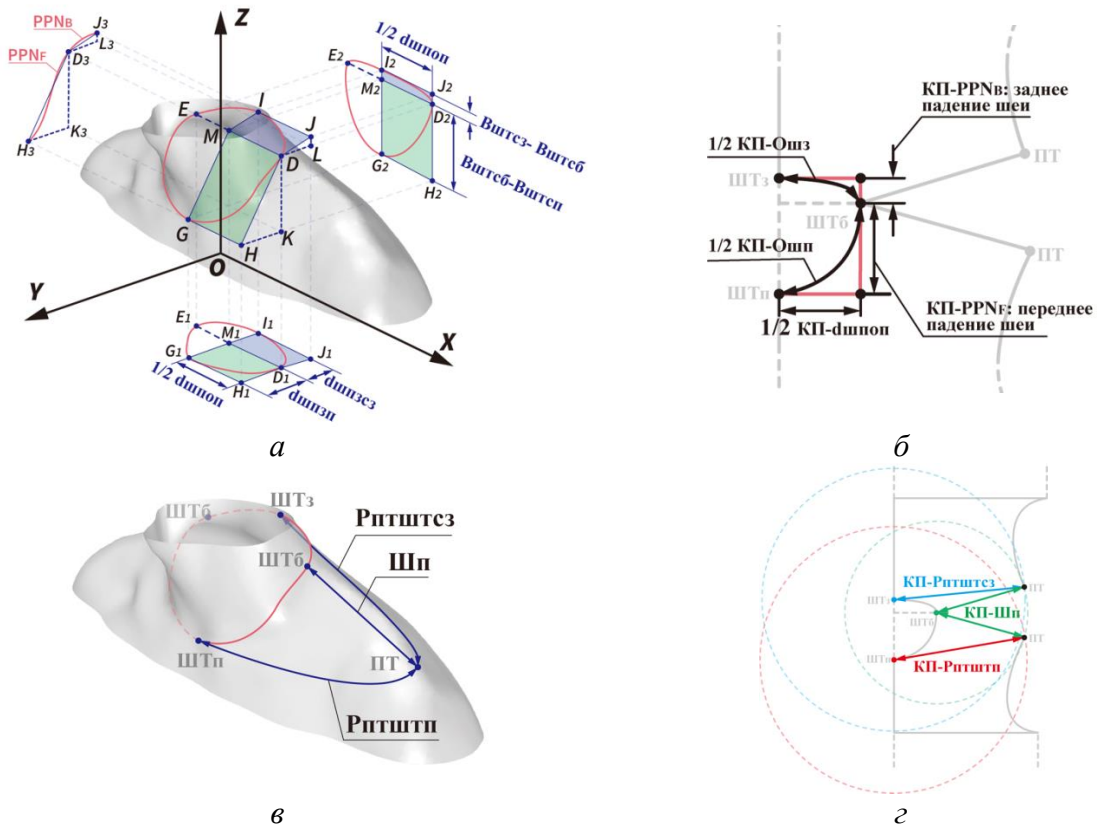


Рис.2 – Графоаналитические модели участков опорной поверхности фигуры (а, в) и схемы их разворачивания на плоскости в базисных сетках чертежей (б, г). На **рис.2** приняты следующие обозначения: Н, К - вспомогательные точки на шее спереди, J, L - вспомогательные точки на шее сзади, М - точка пересечения поперечного и передне-заднего диаметров шеи, ШТп(Г) - шейная точка спереди, ШТз(І) - шейная точка сзади, ШТб(Д) - шейная точка сбоку, ПТ - плечевая точка

Массивы антропометрической информации были обработаны с использованием методов математической статистики.

Таким образом, разработанная антропометрическая база данных ориентирована на прямое использование новых размерных признаков для получения морфологически-подобных разверток торсов мужских фигур.

В **третьей главе** разработаны критерии для оценки качества посадки мужских сорочек в реальной и виртуальной средах (результаты опубликованы в пятерых работах).

Для объективной оценки проблем с качеством посадки мужских сорочек были проанализированы 5146 комментариев потребителей относительно 80 моделей, производимых 30 известными брендами и продаваемых в официальных интернет-магазинах TMALL. В результате были установлены мнения потребителей, выделены основные индикаторы, по присутствию которых можно определить уровень качества конструирования и посадки. В качестве индикаторов были выбраны не предусмотренные дизайном сорочки складки и изменения контурных линий, которые могут сформироваться на поверхности сорочки (виды спереди, сбоку, сзади). Для каждого индикатора были определены возможные конструктивные причины его появления. Фрагмент матрицы представлен на **рис.3** для основных участков сорочки - воротника, плечевого пояса, стана, проймы и рукава.



Рис.3 - Фрагмент матрицы для участков горловины, плечевого пояса, стана, проймы, рукава "индикаторы посадки - конструктивные параметры"

Экспериментальная проверка включала установление конструктивных причин возникновения дефектов и установление зависимости между степенью проявления дефектов. С манекеном типа 175/92А (рост - 175см, обхват груди - 92см, обхват талии - 78см), фрагмент параметризации конструктивного дефекта "Расхождение краев бортов" под влиянием конструктивных особенностей показан на **рис.4**.

С учетом механических свойств ткани, из которой были сшиты реальные сорочки силуэтов Х и Н, получены линейные регрессионные соотношения между углом между расстегнутыми бортами, продольным балансом чертежа и показателями свойств материала:

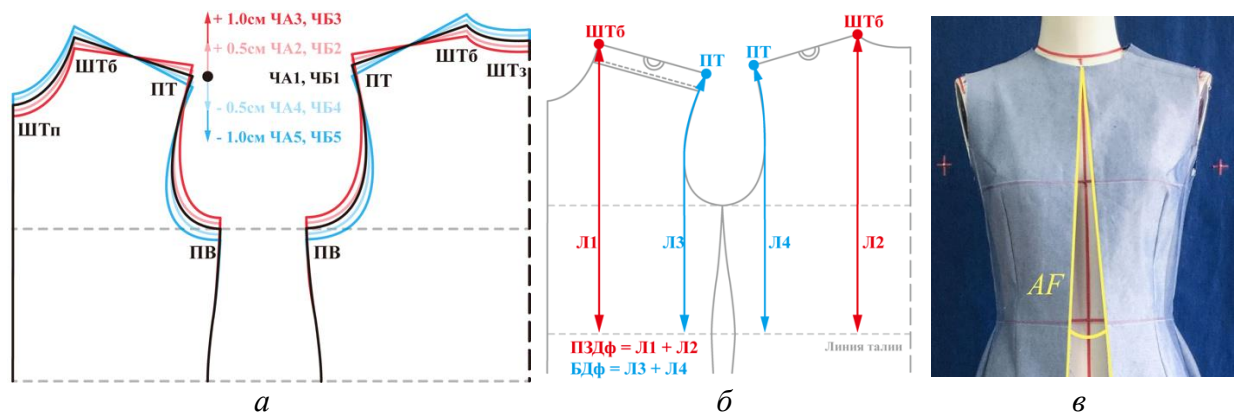


Рис.4 - Схематическая модификация основного чертежа для прогнозирования дефектов посадки (а), измерения продольного баланса чертежа (б) и угла наклона передних краев растянутого стана сорочки (в)

$$AFH = 4.3 - 19.3V_{\text{warp}}, \quad (1)$$

$$AFH = 0.80ПЗДф - БДф - 2.69, \quad (2)$$

$$AFX = 5.4 - 12.0V_{\text{warp}}, \quad (3)$$

$$AFX = 0.69ПЗДф - БДф + 0.04, \quad (4)$$

где AFH и AFX - углы между между растянутыми бортами сорочек для силуэтов Н и Х соответственно; V_{warp} - жесткость на изгиб в направлении деформации тканей; ПЗДф-БДф - индекс наклона плечевого ската.

Окончательно были составлены графические схемы визуализации конструктивных дефектов посадки, показанные на **рис.5**.

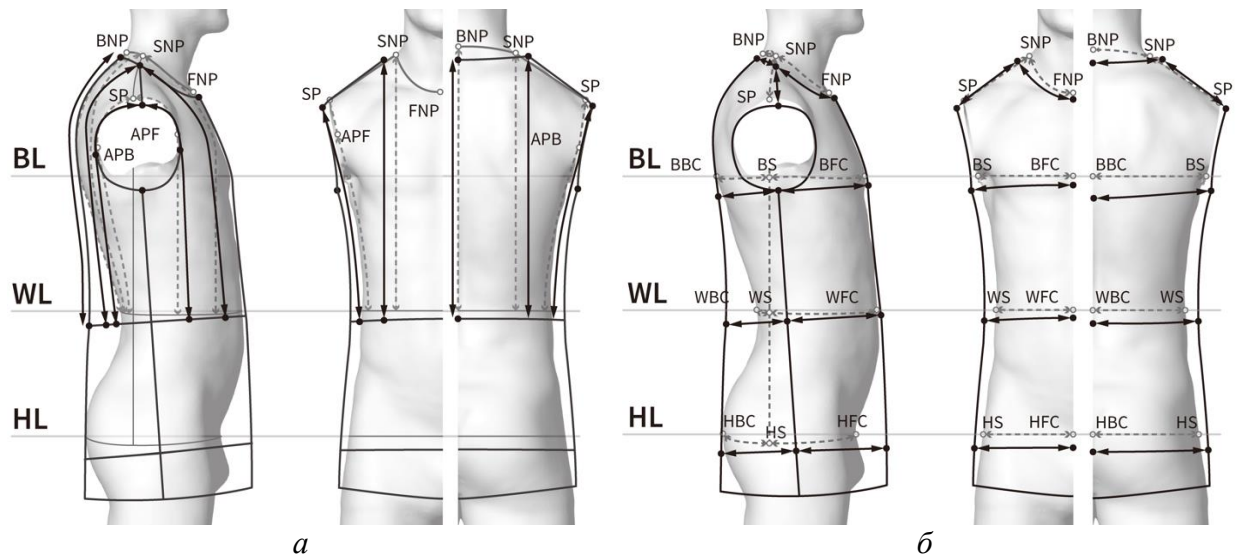


Рис. 5 - Схемы визуализации причин возникновения дефектов посадки мужских сорочек из-за нарушения продольных (а) и поперечных (б) балансов

Группировка продольных и поперечных балансов выполнена согласно классификации кафедры конструирования швейных изделий ИВГПУ.

Таким образом, сформулированы требования к внешнему виду кастомизированных мужских сорочек и определены требования к чертежам их конструкций.

В **четвертой главе** разработана методика конструирования и проверки качества чертежей мужских сорочек и проведена ее проверка с разными текстильными тканями (результаты опубликованы в трех работах).

Методика конструирования разработана для новых размерных признаков и геометрических моделей торса, шеи, плечевого пояса и руки. Схема применения размерных признаков для согласования положения конструктивных точек и уровней показана на **рис. 6**. Для построения чертежа помимо конструктивных прибавок использованы показатели четырех групп: КП1 – равные размерным признакам, КП2 – равные сумме размерных признаков и неизменяемых конструктивных прибавок, КП3 – равные сумме размерных признаков и конструктивных прибавок, зависящих от стиля (объемно-пространственной формы) сорочки, КП4 – равные конструктивных прибавок, зависящих от стиля сорочки.

С помощью разработанных показателей можно прогнозировать качество посадки сорочки. Проверка новой методики в реальной и виртуальной реальности была проведена с использованием пятых видов тканей с различными показателями свойств. Показатели свойств тканей (растяжимость, сдвиг, изгиб) были измерены с помощью систем тестирования KES. Показатели свойств реальных тканей были использованы для определения ближайших цифровых двойников из существующей библиотеки CLO. Результаты проверки показали правильность схемы согласования новых размерных признаков.

Разработан алгоритм корректировки БК сорочки, пример реализации которого показан на **рис.7**.

Таким образом, показана гибкость разработанной технологии e-bespoke.

В **пятой главе** обоснованы структура аппаратно-программного комплекса, алгоритм генерирования виртуальных систем "цифровой двойник мужской фигуры - сорочка" и показаны результаты практической реализации (результаты опубликованы в четырех работах).

Алгоритм проектирования сорочек был проверен с четырех позиций:

трансформирование цифровых клонов в цифровые двойники для генерирования различных поз;

прямое генерирования чертежей e-bespoke согласно морфологии цифрового двойника;

преобразование показателей физико-механических свойств тканей в цифровые индексы в CLO;

визуализация цифрового двойника сорочки с позиций адекватности его внешнего вида материальной сорочки.

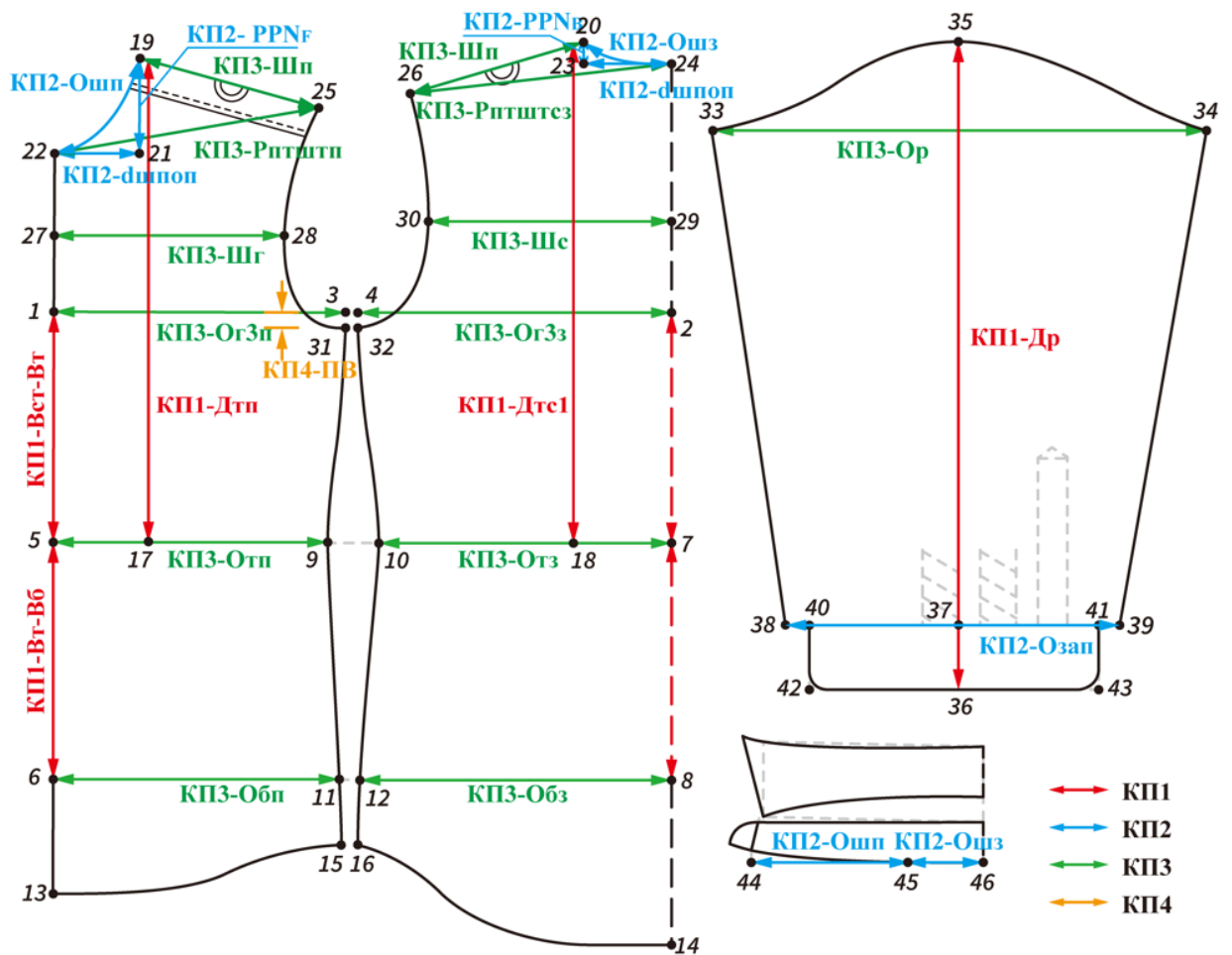


Рис.6 - Схема чертежа конструкции мужской сорочки e-bespoke

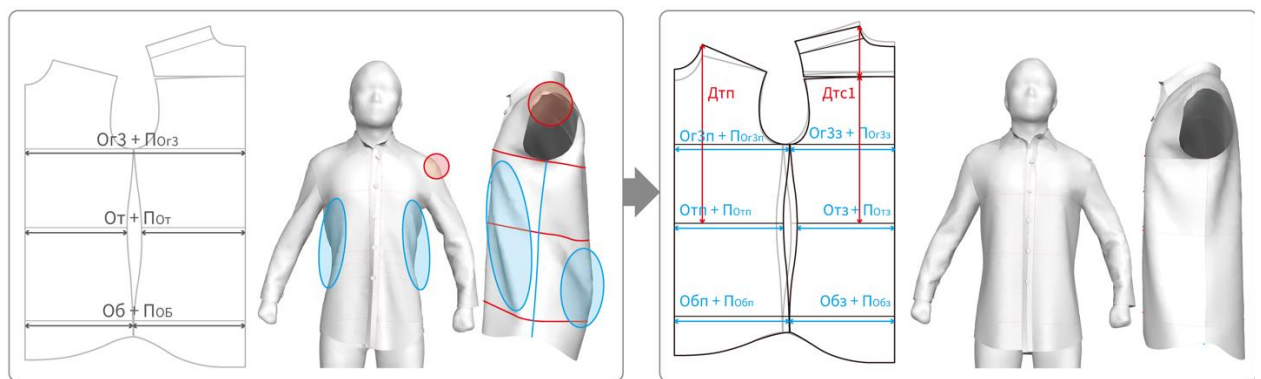


Рис.7 - Пример улучшения качества посадки сорочки на индивидуальной фигуре

На рис. 8 показано чертежи и цифровые сорочки, полученные разным способом: с использованием алгоритма проектирования сорочек для массового производства (RtW), адресного (MtM) и e-bespoke.

Рис.8 показывает явные различия между оформлением контуров чертежей и демонстрирует их влияние на внешний вид сорочек. Очевиден высокий уровень качества посадки сорочки по технологии e-bespoke на фигуре выбранного варианта. Аналогичная проверка была проведена для мужских фигур с разной морфологией для сорочек разных форм: малообъемных, приталенных, обычного и большого размеров, во время которых были подтверждены явные преимущества разработанного метода проектирования.

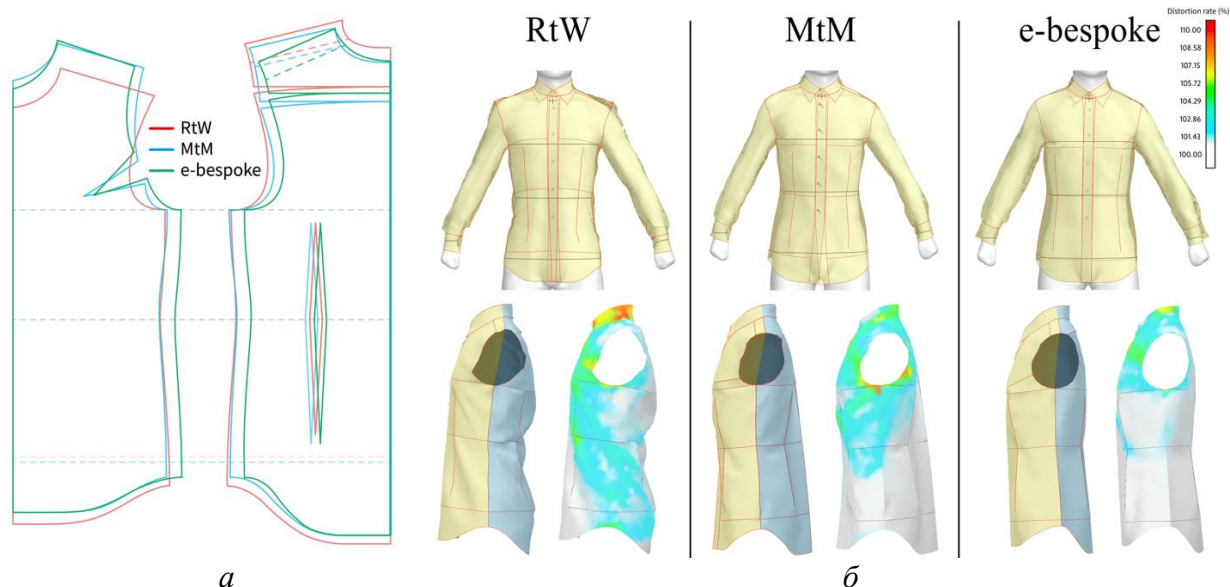


Рис. 8 - Совмещенные схемы чертежей сорочек на антропометрической формы RtW, MtM и разработанной e-bespoke (*а*) и внешний вид виртуальных систем "цифровой двойник фигуры - сорочка" с идентификацией напряженного состояния ткани (*б*)

Производственная проверка новой методики была проведена в компании Texel (Москва) путем дистанционного изготовления чертежей для шести индивидуальных фигур, сканированных с помощью бодисканера Texel, и пошива сорочек приталенного силуэта. Результаты проверки показали высокую степень удовлетворенности индивидуальных потребителей. На **рис.9** показан фрагмент из опытной партии кастомизированных сорочек, изготовленных на фигуры нетипового телосложения.



Рис.9 - Цифровой двойник сорочки для Сергея К., полученный по кастомизированным чертежам и реальный кастомизированный образец сорочки

Таким образом, цель, поставленная в диссертационной работе, достигнута.

ИТОГИ ВЫПОЛНЕННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

1. Разработана технология индивидуального виртуального дизайна мужской сорочки e-bespoke с помощью интегрированной системы аппаратного и программного обеспечения, позволяющей получать, обрабатывать, передавать и принимать данные о 2D или 3D объектах для генерации виртуальных двойников систем “фигура - сорочка” с прогнозируемым уровнем качества посадки.

2. Создана новая антропометрическая база данных о мужских фигурах на основе совокупности 25 чертежно-ориентированных размерных признаков, измеренных на виртуальных клонах фигур и точно описывающих пространственную форму, расположение и пропорции участков торса, плечевого пояса, шеи и руки. Разработаны геометрические модели различных сегментов фигуры для демонстрации и визуализации функциональности каждого нового размерного признака, а также для исследования механизма применения размерных признаков в кастомизированном чертеже сорочки.

3. Созданы исходные референтные базы данных для валидации дефектов посадки мужских сорочек в соответствии с мнениями потребителей. Влияние конструктивных параметров, показателей свойств текстильных материалов и объемно-пространственной формы сорочки подтверждены натурными экспериментами и установленными математическими соотношениями. Разработаны рекомендации в виде пятиуровневых критериев для оценки различных участков мужских сорочек, включающие субъективные элементы (вербальные описания, фотографии готовых сорочек) и объективно-измеряемые индексы (параметры чертежей, размерные признаки), которые могут быть использованы для прогнозирования посадки, проверки качества сшитой сорочки и установления конструктивных причин дефектов посадки.

4. Разработан алгоритм генерирования индивидуального чертежа сорочки с гарантированным высоким уровнем посадки с использованием баз антропометрических данных, геометрических моделей, конструктивных прибавок и конструктивных параметров для сорочек с различными объемно-пространственными формами.

5. Структура аппаратного и программного обеспечения для виртуального дизайна мужской сорочки e-bespoke была получена путем интеграции различных подходов для передачи информации в цифровом виде, включая сканирование человеческих фигур, обработку и измерение цифрового клона, тестирование текстильных материалов, конструирование чертежа, визуализацию 3D виртуальной системы “фигура - сорочка” и ее объективную и субъективную оценки.

6. Технология индивидуального дизайна мужской сорочки e-bespoke была протестирована на реальных и виртуальных образцах в лабораторном и практическом производстве. Полученные результаты показали ее применимость и высокую удовлетворенность индивидуальных потребителей ввиду правильности разработанных баз данных и целостности структуры программно-аппаратного комплекса.

7. Результаты рекомендуется использовать в следующих аспектах:

- в качестве теоретического содержания антропометрии, дизайна мужской сорочки, кастомизации или квалиметрии;
- в учебном процессе высших и средних учебных заведений при подготовке дизайнеров одежды и инженеров-конструкторов, а также в системе дополнительного профессионального образования;
- в разработке национальной технологической инициативы FashionNet;
- в разработке новых модулей или библиотек для САПР одежды;
- в онлайн-ателье цифрового дизайна кастомизированной одежды.

РЕКОМЕНДАЦИИ, ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ

1. Предложенные подходы были проверены для мужских фигур типов Y и A нормального телосложения (по российской типологии они идентичны фигурам 1,2 и 3 полнотных групп). Для обогащения антропометрической базы данных и совершенствования технологии дизайна сорочки необходимо провести исследовать мужские фигуры других типов и полнот.

2. Этапы примерки и оценки мужских сорочек были выполнены по обычному сценарию без нижнего белья и в статической позе стоя. В будущем целесообразно расширить число сценариев и поз для более всесторонней разработки и оценки виртуального двойника системы “фигура - сорочка”.

3. Созданные базы данных и модули, генерируемые аппаратно-программным обеспечением, будут обучены и протестированы для создания интегральной модели кастомизации мужской сорочки на основе AI, которая может автоматически анализировать морфологию фигуры, генерировать индивидуальный чертеж и оценивать посадку.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

статьи в журналах из Перечня ВАК

1. Янь, Ц. Совершенствование технологии кастомизированного проектирования мужских сорочек (A development of men’s e-bespoke shirt) / Ц. Янь, В.Е. Кузьмичев // **Известия вузов. Технология текстильной промышленности**, 2021, № 1, с. 84-89.

статьи в иностранных изданиях, индексируемых в международных цитатно-аналитических базах данных Web of Science и Scopus:

2. Yan, J.Q. New data base for improving virtual system “body-dress” (Новая база данных для совершенствования виртуальных систем "фигура-платье") / J.Q. Yan, V.E. Kuzmichev, S.C. Zhang, D.C. Adolphe // **IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering: 17th World Textile Conference AUTEX**, 2017, 254, pp. 172029. doi:10.1088/1757-899X/254/17/172029 (0.375/0.094 п.л.)

3. Yan, J.Q. Hierarchical fit criteria of made-to-measure men shirt with virtual technology (Иерархия критериев посадки MtM мужских сорочек с помощью виртуальных технологий) / J.Q. Yan, V.E. Kuzmichev // **IOP Conf. Series:**

Materials Science and Engineering: Aegean International Textile and Advanced Engineering Conference AITAE, 2019, 459, pp. 012086. doi:10.1088/1757-899X/459/1/012086 (0.313/0.156 п.л.)

4. Yan, J.Q. Virtual technology of Made-to-Measure Men Shirt (Виртуальная технология сорочек MtM) / J.Q. Yan, V.E. Kuzmichev, // **IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering:** 18th World Textile Conference AUTEX, 2018, 460, pp. 012014. doi:10.1088/1757-899X/460/1/012014 (0.438/0.219 п.л.)

5. Yan, J.Q. A virtual e-bespoke men's shirt based on new body measurements and method of pattern drafting (Виртуальные кастомизированные мужские сорочки, основанные на новых размерных признаках и методе конструирования) / J.Q. Yan, V.E. Kuzmichev // **Textile Research Journal**, 2020, 90(19-20), pp. 2223-2244. <https://doi.org/10.1177/0040517520913347> (1.375/0.688 п.л.) **Impact Factor: 1.926. Now Ranked 5/24 in Material Science, Textiles**

6. Yan, J.Q. Fit evaluation for virtual men's shirt (Оценка посадки виртуальной мужской сорочки) / J.Q. Yan, V.E. Kuzmichev // **IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering:** International Conference on Technics, Technologies and Education ICTTE 2020, 2020. (0.375/0.188 п.л.)

публикации в сборниках трудов, материалах конференций и других изданиях

7. Yan, J. Virtual design of system "body-dress" improving with scanning technologies (Виртуальное проектирование систем "фигура-платье", улучшаемое за счет технологий сканирования) / J. Yan, S. Zhang, V.E. Kuzmichev // Book of abstracts 7th International conference on 3D Body scanning technologies. Lugano, Switzerland, 30 Nov. - 1 Dec. 2016, pp. 132-138. <http://dx.doi.org/10.15221/16.132> (0.438/0.146 п.л.)

8. Янь, Ц. Инструменты для формообразования одежды свободной формы в виртуальном проектировании / Ц. Янь, В.Е. Кузьмичев // Информационная среда вуза: материалы XXII международной науч.-техн. конф, 23-25 ноября 2016, ИВГПУ, Иваново, с. 192-195. (0.375/0.188 п.л.)

9. Янь, Ц. Генерирование новой информации о морфологических особенностях мужских фигур после их оцифровывания / Ц. Янь, Ц. Пэн, В.Е.Кузьмичев// Информационная среда вуза: материалы XXIV межд. научн.-техн. конф. 22-23 ноября 2017 года. Иваново, ИВГПУ, с. 138-141. (0.25/0.083 п.л.)

10. Янь, Ц. Сценарные технологии виртуального проектирования: переход от схемы "фигура-чертеж" к "потребитель-одежда" / Ц. Янь, В.Е. Кузьмичев // Информационная среда вуза: материалы XXIV межд. научн.-техн. конф. 22-23 ноября 2017 года. Иваново, ИВГПУ, с. 142-146. (0.313/0.156 п.л.)

11. Янь, Ц. Разработка критериев посадки сорочек на виртуальных двойниках / Ц. Янь, В.Е. Кузьмичев // Молодые ученые -развитию текстильно-промышленного кластера (ПОИСК 2019): сб. материалов межвуз. науч.-техн. аспирантов и студентов (с межд. участием). Ч.1. -Иваново: ИВГПУ, 2019, с. 181-184. (0.25/0.125 п.л.)

12. Янь, Ц. Проверка адекватности сканатаров и их аватаров, генерируемых в CLO 3D/ Ц. Янь, В.Е. Кузьмичев: Молодые ученые – развитию Национальной технологической инициативы (ПОИСК–2020): сб. материалов Национальной молодёжной научно-технической конференции. – Иваново: ИВГПУ, 2020, с. 771-774. (0.25/0.125 п.л.)

13. Кузьмичев, В.Е. Цифровое дизайн-проектирование и оценка виртуальной одежды: перспективы развития после Fhub Congress Ivanovo I /В.Е. Кузьмичев, Ц. Янь, П. Ся, С. Ван // Международный научно-практический форум SMARTEX. 20-23 октября 2020 года. Иваново, ИВГПУ, с. 56-63. (0.5/0.125 п.л.)

Подписано в печать 18.03.2021 г.

Формат 1/16 60x84.

Бумага писчая. Плоская печать.

Усл.печ.л. 1,0,5. Уч.-изд.л. 1,0. Тираж 80 экз. Заказ №

ФГБОУ ВО "Ивановский государственный политехнический университет"

Редакционно-издательский отдел УИРиК
153000, г. Иваново, Шереметевский пр., 21