

*На правах рукописи*

程 折

Чэн Чжэ (Cheng Zhe)

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРОЕКТИРОВАНИЯ  
МУЖСКОГО БЕЛЬЯ**

Научная специальность 05.19.04 – Технология швейных изделий

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Иваново 2019

Работа выполнена на кафедре конструирования швейных изделий  
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

Официальные  
оппоненты

**Черунова Ирина Викторовна**,  
доктор технических наук, профессор, профессор  
кафедры "Конструирование, технологии и  
дизайн" Института сферы обслуживания и  
предпринимательства (филиал), ФГБОУ ВО  
"Донской государственный технический  
университет", г. Шахты Ростовской области

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

Ведущая организация

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

Защита состоится 20 июня 2019 г. в 11 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 [www.ivgpi.com](http://www.ivgpi.com).

Автореферат разослан

мая 2019 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
Д 212.355.02



Е.Н.Никифорова

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** Благодаря появлению новых материалов и значительному расширению перечня его функций, мужское бельё стало одним из самых динамично развивающихся видов одежды. Назначение белья (повседневное, спортивное, коррекционное, для различных шоу и др.) влияет на художественно-конструкторские и материаловедческие решения. Главными показателями стали комфорт и антропометрическое соответствие морфологии подкорпусной части фигур, достижение которых невозможно без знания морфологии, возможных направлений ее функциональной или эстетической коррекции, основных направлений современного дизайна, механизма деформирования замкнутых оболочек из текстильных материалов.

Положительные результаты для совершенствования проектирования трикотажной одежды получены в исследованиях Г.И.Суриковой, О.С.Болдовкиной, В.Н.Филатова, Г.П.Старковой, Е.Г.Андреевой, А.В.Новиковой, З.Р.Ивановой, И.В.Тисленко. Зарубежные исследователи в настоящее время эти базы знаний требуют дальнейшего развития применительно к мужскому белью, которое может обеспечено применением информации, полученной с помощью новейших технических средств. Бодисканеры, как инструмент для измерения размерных признаков, уже использованы для разработки национальных антропометрических программ во многих странах (США, Великобритания, Франция, Китай, Мексика и др.) и совершенствования процесса проектирования систем "фигура-одежда", в частности, в работах Ло Юнь, Ли Юэ, Го Мэнны (ИВГПУ), И.А.Петросовой (РГУ имени А.Н.Косыгина). Другими направлениями в совершенствовании процесса проектирования являются использование методологии сенсорного анализа систем "фигура-бельё", результаты которого позволят гуманизировать принимаемые решения и повысить комфортность одежды, и перенос действий модельера-конструктора в виртуальную среду, в которой можно проводить виртуальные примерки и оценивать качество художественно-конструкторских решений до отработки моделей в материале.

Работа выполнена в 2016–2018 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.** До сих пор не существует универсальной методики конструирования мужского белья. Из-за деликатности предмета проектирования многие аспекты до сих пор не изучены и не систематизированы. Особенно часто проблемы возникают при проектировании коррекционного белья, предназначенного для изменения пластики мягких тканей фигур и когда необходимо согласовывать показатели свойств материалов с размерами и числом деталей конструкции. До сих пор основным показателем физико-механических свойств при выборе материалов является их растяжимость, определяющая принадлежность к определенной группе, но с помощью которой, однако, невозможно прогнозировать компрессионный (push-up) эффект. В существующий перечень размерных признаков включены только основные обхваты, которых явно недостаточно для проектирования белья с разнонаправленными контурными линиями. Очевидно, что все перечисленные аспекты - подкорпусная часть мужских фигур, трикотажные материалы, конструктивное устройство белья, ощущения потребителей при носке - должны быть рассмотрены с позиций расширения функций белья и обеспечения его комфортности.

**Ключевые слова:** мужская фигура, коррекция, бельё, трикотажные материалы, проектирование, конструкция, давление.

**Целью работы** является совершенствование процесса проектирования мужского белья.

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

- выполнить художественно-конструктивный анализ современных моделей мужского белья для установления границ возможных расположений их контурных линий и линий внутреннего членения на поверхности подкорпусной части фигур;

- провести экспертные опросы потребителей белья разных антропологических типов из разных странах, чтобы установить перечень вопросов, требующих решений при его конструировании;

- провести исследования показателей физико-механических свойств трикотажных материалов в условиях, максимально идентичных тем, которые соответствуют их напряженному состоянию в реальном белье;

- изучить механизм возникновения компрессионного давления на мягкие ткани фигур под замкнутыми напряженными текстильными оболочками в условиях их одноосного растяжения и сдвига;

- установить предельные значения допустимого давления и деформации мягких тканей, которые могут быть достигнуты с помощью коррекционного белья;

- разработать новый показатель компрессионной способности трикотажных материалов и методику их выбора для мужского белья;

- провести антропометрические исследования мужских фигур разных антропологических типов в двух состояниях - в статике и после принудительной деформации мягких тканей подкорпусной части торса;

- разработать классификацию подкорпусной части мужских фигур и номенклатуру из традиционных и новых размерных признаков для построения чертежей конструкций белья;
- разработать новую методику проектирования мужского белья;
- провести апробацию методики проектирования мужского белья в компьютерной среде 3DClo с использованием цифровых двойников материалов, белья и систем "аватар-белье";
- провести промышленные испытания разработанных рекомендаций.

**Объекты исследования** – мужские фигуры разных антропологических типов, мужское бельё, трикотажные материалы, реальные и виртуальные системы «фигура (аватар) – бельё», процесс конструирования и виртуальной симуляции.

**Предмет исследования** – процесс проектирования мужского белья.

**Методология и методы исследований.** В работе использованы в качестве средств исследований реальных фигур и систем «фигура-одежда» бодисканер VITUS Smart XXL с программой *Athroscan 2014* (Human Solutions, Германия), трикотажных полотен - измерительный комплекс для механических испытаний Kawabata Evaluation System KES (Япония). Давление одежды на поверхность тела измеряли датчиком FlexForce с компьютерной программой для регистрации результатов (США). Генерирование и исследование цифровых двойников проводили с применением виртуального инструментария makeHuman и 3DClo. Для обработки результатов измерений использовали методы математической статистики, корреляционного и регрессионного анализа (Excel, SSPS). Экспертные методы (метод опроса) были использованы для установления предпочтений потребителей и оценки сенсорных ощущений носчиков белья.

**Научная новизна** работы состоит в установлении механизма целенаправленного механического воздействия на подкорпусную часть мужских фигур для изменения ее пластики под влиянием конструкции белья и компрессионных свойств трикотажных материалов.

Впервые получены следующие научные результаты.

1. Установлена зависимость между одноосной растяжимостью трикотажных материалов и оказываемым им давлением на мягкие ткани мужских фигур и получены уравнения для прогнозирования величины давления.
2. Разработана номенклатура новых размерных признаков для описания подкорпусной части мужских фигур и получены их типовые сечения в средней саггитальной плоскости.
3. Установлены типологические границы изменения пластики мужских фигур под влиянием комплексного воздействия показателей свойств материалов и конструкции белья для получения эффектов пуш-ап.
4. Разработана новая классификация подкорпусной части мужских фигур, основанная на совокупности новых размерных признаков, необходимых и достаточных для построения чертежей конструкций деталей белья и проверки его комфорта.

### **Положения, выносимые на защиту.**

1. Классификация подкорпусной части торсов мужских фигур.
2. Методика определения компрессионной способности трикотажных материалов.
3. Способ конструирования мужского компрессионного белья.
4. Алгоритм проведения виртуальных примерок с использованием цифровых деформируемых двойников фигур, трикотажных материалов в растянутом состоянии и белья, позволяющий идентифицировать напряженное состояние материалов и сжатие мягких тканей фигуры.

**Теоретическая значимость** работы состоит в обосновании графоаналитического метода построения плоских разверток мужского белья из трикотажных материалов с использованием новой совокупности размерных признаков, гарантирующего возникновение необходимого компрессионного давления белья на мягкие ткани фигуры.

**Практическая значимость** полученных результатов состоит в разработке методики выбора трикотажных материалов, способа построения чертежей конструкций мужского белья с разным набором функций и алгоритма виртуальной примерки мужского белья.

**Достоверность** полученных результатов и выводов обеспечена сходимостью результатов экспериментальных и теоретических исследований, статистической адекватностью полученных уравнений, применением современных и поверенных средств измерений, положительными результатами производственной проверки.

**Апробация результатов.** Результаты работы доложены и получили положительную оценку на следующих конференциях: конференции молодых ученых, аспирантов и студентов «ПОИСК» (Иваново, 2015); Всероссийской научной студенческой конференции (Москва, МГУДТ, 2015, 2016); международных конференциях AUTEX World Textile Conference (Турция, Бурса, 2014; Бухарест, Румыния, 2015; Любляна, Словения; 2016, Корфу, Греция; 2017, Стамбул, Турция, 2018); международной научно-технической конференции (Витебск, Белоруссия, 2015); 45 International Conference on Computers & Industrial Engineering (Мюз, Франция, 2015); Информационная среда вуза (Иваново, 2016); международной конференции Aegean International Textile and Advanced Engineering Conference AITAE 2018 (Mytilene, Lesvos, Греция, 2018); международной конференции TBIS (Wuhan, Китай, 2018).

**Основные результаты** работы опубликованы в 23 работах, включая шесть статей в российских журналах из перечня ВАК, трех статей в англоязычных журналах, входящих в базу Web of Science, 14 тезисах и материалах конференций, общий объем которых составляет 6,93 п.л. (личный вклад 3,63 п.л.).

**Структура диссертации.** Диссертация состоит из 5 глав, изложена на 248 стр., включает 25 таблиц, 102 рисунков, 7 приложений, 304 литературных источника.

## СОДЕРЖАНИЕ

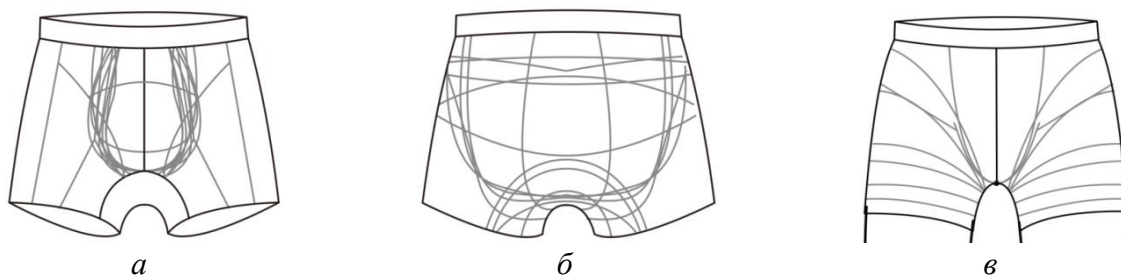
Во **введении** обоснована актуальность исследования, сформулированы цель и задачи, приведены сведения о научной и практической значимости.

В **первой главе** проведен обзор научных и конструкторских работ в области проектирования мужского повседневного, компрессионного и коррекционного белья, рассмотрены существующие методики конструирования, выполнен их сравнительный анализ с позиций информационного обеспечения (исходные данные, прибавки, формулы для расчета), используемые в настоящее время методы испытания материалов перед их выбором для проектирования белья, особенности морфологии мужских фигур и чувствительности кожных покровов, состояние 3D проектирование белья. Определены основные виды белья. Установлено, что в современных методиках конструирования белья используют ограниченное количество размерных признаков, а именно обхват бедер, обхват талии и обхват бедра.

Во **второй главе** выполнен художественно-конструктивный анализ современного мужского белья и анализ предпочтений потребителей для определения объектов и предмета исследования (результаты опубликованы в 2 работах).

Был проведен опрос 579 мужчин разных антропологических типов из России, Франции, Китая, Пакистана и Бангладеш, с помощью которого были установлены их предпочтения в части художественно-конструктивных решений, определены основные проблемы при выборе и эксплуатации белья. В порядке убывания формы все виды белья разделены на две группы: в первую группу входит белье, размеры которого меньше размеров фигуры (61%), во вторую группу - белье с размерами, равными или больше размеров фигуры (39%). Они составляют следующую последовательность для возрастной категории до 35 лет (307 респондентов): плотно облегающее (среднее значение 51%), регулярное (30%), очень облегающее с эффектом коррекции (10%), свободное (9%). Респонденты старшего возраста предпочитают свободное белье. Основные проблемы у потребителей, связанные с конструкцией белья, были вызваны передней (28,5%) и паховой (21,8%) частями и положением пояса (10,3%). Интерес потребителей к белью с эффектом пуш-ап спереди и сзади разный: самый высокий интерес зафиксирован у китайских потребителей (61,5 и 58,7% соответственно), для остальных групп - на уровне 20-26,7%.

Варианты конфигураций внутренних и контурных линий были установлены на основе графо-аналитического анализа более 1000 фотографий и натуральных образцов следующих компаний CalvinKlein, PUMP!, Zara, DIM, Timoteo, H&M, C&A, Andrew Christian, BOSS Hugo Boss, ModusVivendi, Emporio Armani, Jockey, HOM и других (**рисунок 1**).



**Рисунок 1** - Варианты конструктивных решений и расположения внутренних и контурных линий в плотно и сильно облегающем белье: *а* – на передней части, *б* – на задней части, *в* – линии низа

Установлено, что наиболее популярными видами белья являются трунки (22 %), брифы (21%), плотно облегающие боксеры (19%), свободные боксеры (13%). Конструкция популярных видов включает переднюю и заднюю части (преимущественно цельнокроеные), вставку из двух частей на передней части, ластовицу в паховой области, эластичный пояс.

Таким образом, на основе проведенного анализа для исследования в диссертационной работе были выбрано плотно облегающего белья с разными эффектами компрессии.

В **третьей главе** проведены антропометрические исследования мужских фигур и разработана классификации подкорпусной части фигур (результаты опубликованы в 7 работах).

Было измерено 133 мужчин в возрасте 18-28 лет с помощью бодисканера VITUS Smart XXL. Программа включала измерение 33 размерных признаков: четырех общепринятых (обхваты талии, торса на уровне пояса, бедер и бедра) и 29 вновь вводимых. Измерения проводили дважды: сначала на фигуре с исходной пластикой, а затем с измененной пластикой (путем коррекции мягких тканей после надевания нижнего белья особой конструкции).

В новую номенклатуру включены следующие размерные признаки:

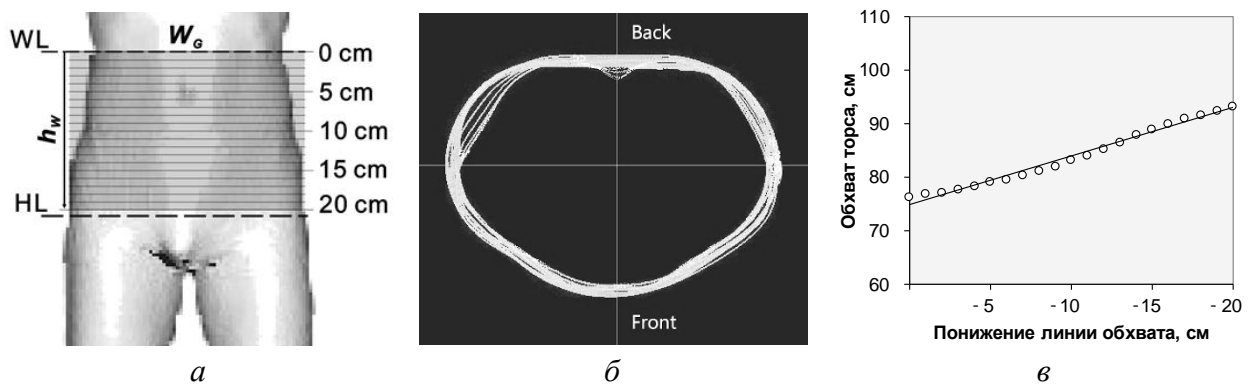
1) для фигур с *исходной* пластикой:

– обхват торса  $O_{\text{торс}}$  ниже линии талии на 1...20 см. Указанный интервал измерения обхвата торса выбран с учетом возможного положения пояса белья. На **рисунке 2** показаны схема измерений и результаты в виде зависимости для вычисления обхвата торса между уровнями талии  $WL$  и бедер  $HL$ ; в зависимости от величины  $h_W$ ;

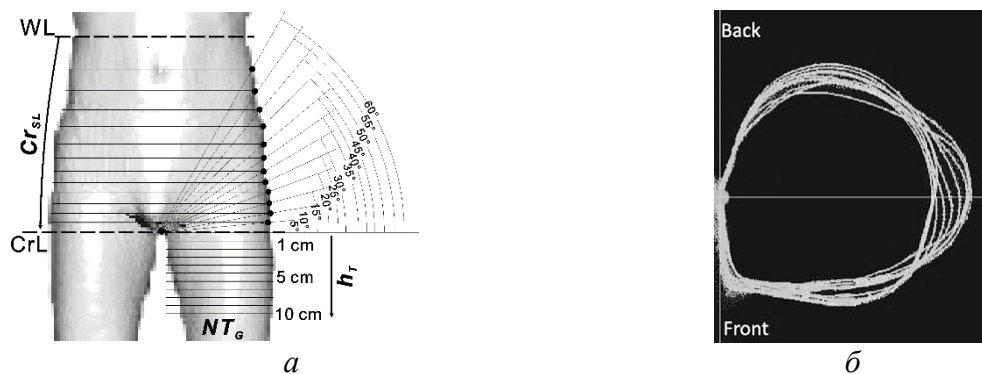
– дуга через паховую область  $CL$ , в том числе спереди  $CL_F$  и сзади  $CL_B$ ;

– обхват бедра наклонный  $O_{\text{бед.н}}$ , измеренный в секущих плоскостях, проведенных через паховую область  $CrL$  под углами 5...60° к горизонтальной плоскости (**рисунок 3**). Выбранный интервал согласован с возможным оформлением линии низа. Уравнение для расчета наклонного обхвата бедра  $O_{\text{бед.н}}$  для фигур первой и второй полнотных групп имеет вид  $O_{\text{бед.н}} = 51,3 + 0,475 \alpha$ , где  $\alpha$  - угол между горизонтальной плоскостью и плоскостью измерения обхвата, град.





**Рисунок 2** - Положение уровней измерения обхвата торса  $O_{\text{торс}}$  (а), совмещенные сечения обхватов торса (б) и зависимость между обхватом торса и его понижением относительно талии (в)



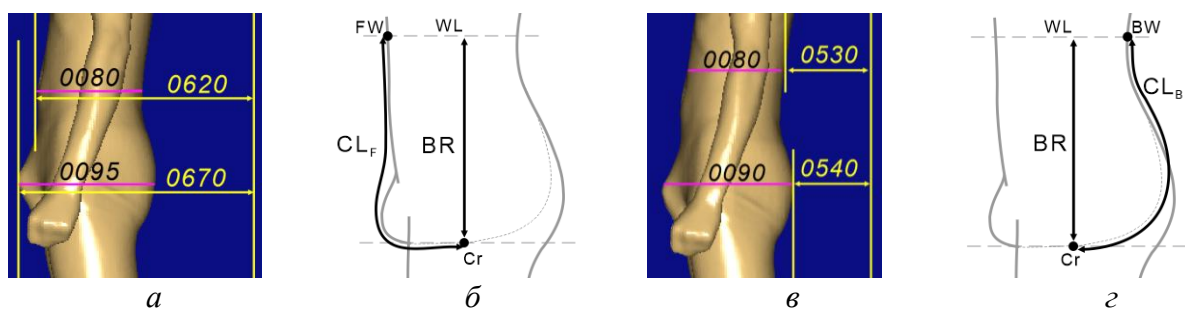
**Рисунок 3** - Схема измерения наклонных обхватов бедра  $O_{\text{бедл}}$  (а) в зависимости от возможного положения линии низа в белье (рис.1, в) и совмещенные сечения наклонных обхватов (б)

- обхват бедра ниже паха  $O_{\text{бедл}} (NT_G)$  на расстоянии  $h_T$ ;
- разность между дугой через паховую область спереди  $CL_F$  и проекционным расстоянием между уровнем талии и паховой областью  $BR$  (этот косвенный признак является количественной характеристикой объема лобковой части);
- разность между дугой через паховую область сзади  $CL_B$  и проекционным расстоянием между уровнем талии и паховой областью  $BR$  (этот косвенный признак количественно характеризует объем ягодиц);

2) для фигур после *изменения* пластики:

- разность высот для пиковой точки гениталий после перемещения гениталий под влиянием компрессионного сжатия;
- разность высот для ягодичной точки под влиянием сжатия.

На основе совокупности новых и известных размерных признаков (**рисунок 4**) разработана классификация подкорпусной части мужских фигур с позиций более полной характеристики морфологических особенностей, обозначения, адресного проектирования и маркировки белья.



**Рисунок 4** - Схемы измерения проекционных размерных признаков, измеренных в программе *Athroscan* (0080, 0620, 0095, 0670, 0530, 0540) и использованных для формирования классификационных признаков нижней части торса: *а*, *б* – объем гениталий, *в*, *г* – объем ягодиц

Классификация построена на использовании двух уровней и четырех признаков (**таблица**): первый уровень – размер (обхват бедер) и пластика подкорпусной части (разность между обхватами бедер и талии); второй уровень – размеры гениталий и ягодиц.

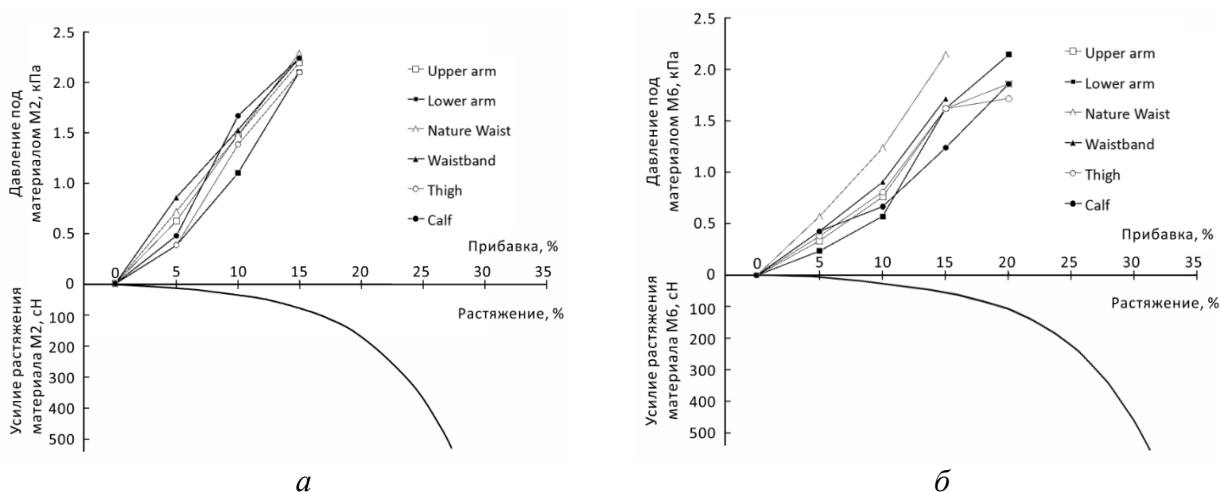
**Таблица** - Новая классификация подкорпусной части мужских фигур

Уровень	Признаки	Интервалы, см			S. D., ±
		<i>S</i> (малый)	<i>M</i> (средний)	<i>L</i> (избыточный вес)	
Первый	1. Обхват бедер $O_б$	< 92	92...98	> 98	5,5
	2. $\Delta(O_б - O_т)$	> 21, символ “-” (малый обхват талии $O_т$ )	14...21, без символа (средний обхват талии $O_т$ )	0...14, символ “+” (большой обхват талии $O_т$ )  * < 0, символ “++” (сверх большой обхват талии $O_т$ )	4,3
Второй	3. Объем гениталий и жироотложения в нижней части живота $\Delta F = CL_F - BR$	< 8,3	8,3...10,7	> 10,7	1,5
	4. Степень выпуклости гениталий $\Delta GW = GF_D - Abd.D$	< 0	0...1,1	> 1,1	0,7
	5. Объем ягодиц $\Delta B = CL_B - BR$	< 6,4	6,4...8,6	> 8,6	1,5
	6. Степень выпуклости ягодиц $\Delta WH = WB_D - HB_D$	< 2,7	2,7...4,9	> 4,9	1,5
Удельный вес фигур, %		12...20	64...73	11...17	–

Разработаны рекомендации по использованию новых размерных признаков для конструирования белья и показаны преимущества вновь сформированной базы данных для проектирования белья на типовые и нетиповые фигуры.

В четвертой главе проведены исследования показателей свойств трикотажных материалов и их влияния на возникновение компрессионного давления на мягкие ткани фигур (результаты опубликованы в 14 работах).

Исследование показателей растяжимости и сдвига 14 видов материалов  $M1...M14$  проводили на приборах комплекса KES (Япония) при небольших по величине нагрузках, характерных для эксплуатации готового белья, а их компрессионное действие - на специальном стенде. На рисунке 5 показаны трехосные графики, скомбинированные после испытания проб и оболочек на фигуре: «растяжение вдоль петельных рядов (ось  $X$ ) – усилие растяжения (нижний участок оси  $Y$ ) – давление (верхний участок оси  $Y$ )». В качестве управляющего фактора взята величина одноосного растяжения проб, идентичная величине отрицательной конструктивной прибавки.



**Рисунок 5** - Зависимости между растяжением, усилием растяжения и давлением, возникающего на разных участках фигуры для двух видов материалов: *a* –  $M2$ , *б* –  $M6$  (*upper arm* - бицепс, *lower arm* - предплечье, *natural waist* - талия, *waistband* - обхват ниже талии в области пояса, *thigh* - бедро, *calf* - икра)

Из рисунка 5 очевидны следующие важные выводы. Материалы  $M2$  и  $M6$  обладают разной способностью к созданию компрессионного давления: например, при растяжении на 15 % под материалом  $M2$  можно достичь давления 2,1...2,5 кПа, а под материалом  $M6$  – лишь 1,2...1,7 кПа. Чтобы сжать мягкие ткани фигуры, материалы следует растянуть на разные величины, т.е. необходимо проектировать разные конструктивные прибавки в чертежах белья.

Кривые «усилие–растяжение», полученные после испытания на приборе KES-FB-1, позволили получить дополнительную информацию о внутренних напряжениях. При одинаковом удлинении проб на 15 % внутри них будут действовать разные напряжения: в материале  $M2$  - 65 сН/см, а в материале  $M6$  - в два раза меньше 31,3 сН/см. Аналогичные прямо

пропорциональные соотношения между напряжением внутри растягиваемой пробы и оказываемой ей давлением на выбранные мягкие ткани подтверждены для всех исследованных материалов.

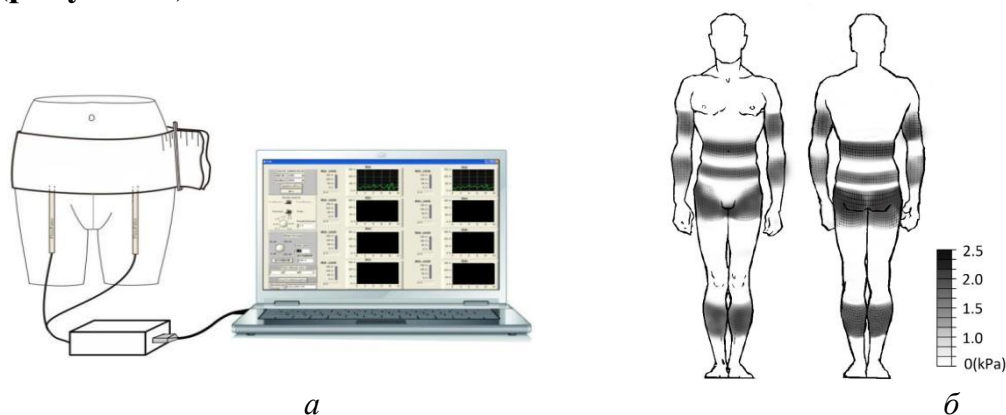
Нами предложен новый показатель компрессионной способности трикотажного материала  $CP$ , равный

$$CP = P_{\max} / E, \quad (1)$$

где  $E$  – максимальная конструктивная прибавка, равная относительной разности между периметрами фигуры и белья, %;  $P_{\max}$  – максимальное допустимое давление под напряженной трикотажной оболочкой, кПа.

Чем выше величина  $CP$ , тем выше компрессионная способность материала и нет необходимости проектировать большие по величине конструктивные прибавки.

Установлены допустимые значения давления для участков фигуры (рисунок 6).



**Рисунок 6** - Схема экспериментального стенда для измерения давления под текстильными оболочками (а) и участки мужской фигуры, на которых можно проектировать максимальный уровень кратковременного компрессионного сжатия мягких тканей одеждой (б)

В порядке снижения чувствительности к компрессионному давлению мягкие ткани фигуры образуют следующий ряд:

*предплечье - плечо - икра - пояс - бедро - талия.*

Видно, что максимальное давление составило  $P_{\max} = 0,61 \dots 2,33$  кПа, а для его достижения трикотажные пробы были растянуты на  $14,8 \dots 22,2$  %. Для прогнозирования компрессионного давления под оболочками были выбраны неадаптированные и адаптированные показатели свойств материалов, характеризующие их поведение при растяжении и сдвиге. Уравнения для прогнозирования компрессионного давления и коэффициента компрессионной способности вид

$$P_{\max} = e^{\left(0,75 - \frac{7,404}{F_{\text{крит.у}}}\right)}, \quad (2)$$

$$CP = 0,017 F(20)_y^{0,398}, \quad (3)$$

где  $F_{\text{крит.у}}$  – среднее значение усилия растяжения поперек петельных рядов, сН/см, которое необходимо приложить к материалу на приборе KES-FB-1 для его растяжения в среднем на 19,5 %, сН/см;  $F(20)_у$  – усилие растяжения для относительного удлинения материала на 20%, сН.

Для прогнозирования давления на отдельных участках общее уравнение (2) трансформируется в частные со следующими значениями коэффициентов (порядок их расположения: предплечье - плечо - икра - пояс - бедро - талия)

$$P_{\text{max}} = (0,366; 0,221; 0,697; 0,741; 0,520; 0,214)F_{\text{крит.о}}^{(0,364; 0,476; 0,199; 0,198; 0,254; 0,457)} \quad (4)$$

$$P_{\text{max}} = (0,740; 0,314; 0,650; 0,595; 0,386; 0,580)F_{\text{крит.у}}^{(0,237; 0,434; 0,234; 0,265; 0,363; 0,288)} \quad (5)$$

где  $F_{\text{крит.о}}$  - среднее значение усилия растяжения вдоль петельных рядов, сН/см.

Имея уравнения (4) и (5), получаем формулу для проверки величин конструктивных прибавок  $KП$

$$E \leq e^{\left(2,068 + \frac{0,666}{T_0}\right)}, \quad (6)$$

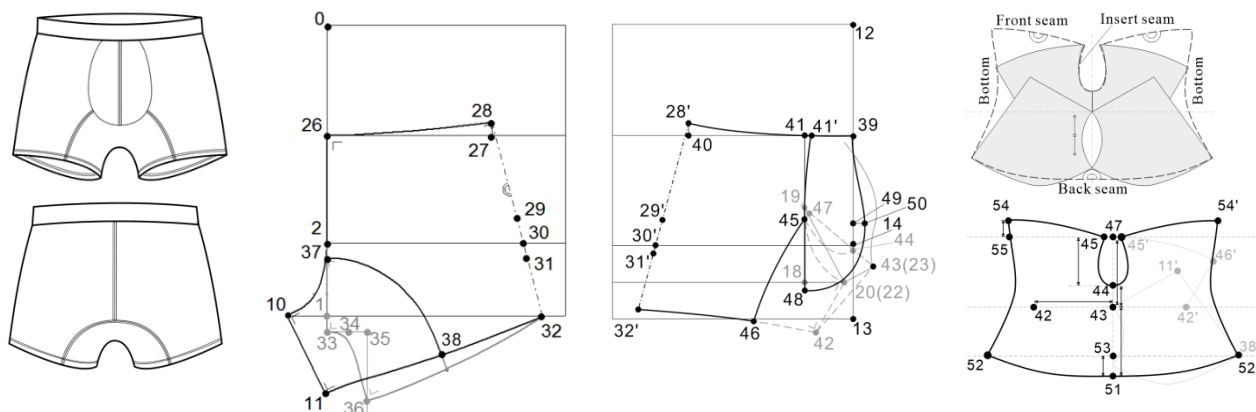
$$E \leq e^{\left(3,191 - \frac{10,789}{EMT_y}\right)}, \quad (7)$$

где  $T_0$  - толщина ткани под нагрузкой 0,5 сН/см<sup>2</sup>, мм;  $EMT_y$  - полная деформация удлинения поперек петельных столбиков, %. Для исследованных материалов рекомендованы значения отрицательных конструктивных прибавок на участках фигуры.

Полученные уравнения можно использовать для проектировании компрессионных трикотажных видов мужского белья. Вначале необходимо измерить усилие растяжения пробы трикотажного материала  $F_{\text{крит.у}}$  для ее удлинения в среднем на 19,5 % и рассчитать значение допустимого компрессионного давления трикотажной оболочки на тот или иной участок фигуры. Затем проверить достаточность величины запроектированной конструктивной прибавки для проектируемых деталей белья.

В **пятой главе** разработана новая методика конструирования мужского белья, проведена ее проверка в виртуальной среде и приведены результаты промышленной апробации (результаты опубликованы в 9 работах).

В базу исходных данных включены новые размерные признаки, показатели свойств материалов, согласованные значения отрицательных конструктивных прибавок и возникающего под растянутыми материалами компрессионного давления. Разработан пошаговый алгоритм построения двух наиболее популярных моделей боксеров. Схема чертежа передней и задней частей белья (боксеров) показана на **рисунке 7**.



**Рисунок 7** - Схемы чертежей деталей боксеров, построенных по новой методике

Схема градации чертежей разработана с учетом межразмерных приращений для новых размерных признаков.

Выполнено сравнение разработанной методики с известными путем изготовления белья для разных мужских фигур и показано ее преимущество. Установлено, что интервал средних сенсорных оценок составил 3,1–4,9, что соответствует порогам ощущения от удовлетворительного до очень комфортного. Никто из экспертов, участвовавших в эксперименте, не поставил оценки некомфортно и очень некомфортно. При проведении экспериментальной проверки установлено, что разность между теоретическими и экспериментальными значениями компрессионного давления составила 0,223 кПа.

Моделирование процесса виртуальной примерки белья, построенного по новой методике, выполнено в программах 3DClo и makeHuman и подтвердило возможность переноса процесса проектирования в виртуальную среду, использования частично мягкотельных аватаров и генерирования цифровых двойников "аватар фигуры – белье" с идентификацией напряженного состояния материалов и сжатия мягких тканей фигуры. Выполнена корректировка уравнений для прогнозирования давления с целью повышения их адекватности.

Промышленная проверка новой методики осуществлена в условиях компании ZOZH (г. Иваново) путем изготовления опытной партии мужских боксеров.

## **ИТОГИ ВЫПОЛНЕННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ**

1. Установлены основные направления в изменении антропоморфных и эстетических особенностей подкорпусной части торса мужских фигур, достигаемые за счет художественно-конструктивных решений мужского белья, включающими положения контурных линий относительно антропометрических уровней фигуры, габаритные размеры, оформление линий внутреннего членения. Определены диапазоны положения контурных линий белья на поверхности мужских фигур.

2. На основании экспертного опроса большой группы потребителей из разных стран установлены их предпочтения относительно существующего ассортимента мужского белья и выявлены основные проблемы, возникающие при его покупке и эксплуатации, позволившие актуализировать содержание научных исследований.

3. Разработана новая номенклатура размерных признаков, необходимая и достаточная для описания антропоморфных особенностей мужских фигур с исходной пластикой и после её изменения под влиянием механического воздействия компрессионного белья, а также пригодная для расчета конструктивных параметров и построения чертежей деталей. Впервые получены типовые сечения условной линии сочленения правой и левой частей мужского торса в средней сагиттальной плоскости.

4. Экспериментально определены границы участков мужской фигуры, для которых можно проектировать максимальный уровень кратковременного компрессионного сжатия мягких тканей одеждой.

5. Разработан новый показатель компрессионной способности для трикотажных полотен, характеризующий их способность создавать максимальное давление на мягкие ткани фигуры в зависимости от степени заужения белья относительно обхватов фигуры.

6. Получены уравнения для прогнозирования компрессионного давления под растянутыми текстильными оболочками и проверки достаточности выбранных конструктивных прибавок для достижения необходимого давления.

7. Экспериментально установлены границы коррекции мягких тканей мужских фигур спереди и сзади и разработан алгоритм компьютерной симуляции целенаправленного изменения пластики на цифровых двойниках фигур и белья.

8. Разработана новая методика конструирования мужского белья, основанная на новых размерных признаках и схеме градации, реализованная в традиционном и компьютерном проектировании.

## **РЕКОМЕНДАЦИИ, ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ**

1. Результаты работы рекомендуется использовать в учебном процессе вузов, осуществляющих подготовку бакалавров и магистров по направлению «Конструирование изделий легкой промышленности», на предприятиях, выпускающих мужское бельё, в модернизации программного обеспечения САПР и повышения квалификации для развития новых компетенций, ориентированных на цифровизацию экономики.

2. Разработанная концепция проектирования компрессионного белья, включающая структурирование белья, целенаправленное распределение давления и изменение пластики фигур, может быть адаптирована к медицинской, корректирующей и спортивной областям.

3. Получение более точной антропометрической информации, описание морфологических различий и разработка схемы маркировки белья для более широких групп потребителей может быть достигнуто за счет усовершенствования технологии бодисканирования.

4. Процессы художественного и промышленного проектирования должны быть перемещены в виртуальную среду с выполнением всех работ на цифровых двойниках фигур, материалов и белья.

### **Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:**

*статьи в журналах из перечня ВАК:*

1. Чэн, Ч. Художественно-конструктивная база данных для проектирования мужского нижнего белья (часть 1) / Ч.Чэн, В.Е.Кузьмичев // **Швейная промышленность**, 2013, № 6. - С.26-29 (0,25 п.л. / 0,15 п.л.)

2. Чэн, Ч. Разработка методики выбора трикотажных материалов для мужского компрессионного белья (часть 2) / Ч.Чэн, В.Е.Кузьмичев // **Швейная промышленность**, 2014, № 4. - С.27-31 (0,31 п.л. / 0,2 п.л.)

3. Чэн, Ч. Методика конструирования мужского компрессионного белья (часть 3) / Ч.Чэн, В.Е.Кузьмичев // **Швейная промышленность**, 2015, № 1-2. - С.45-49 (0,31 п.л. / 0,2 п.л.).

4. Кузьмичев, В.Е. Исследование компрессионной способности трикотажных материалов / В.Е. Кузьмичев, И.В.Тисленко, Ч. Чэн, Д.С.Адольф // **Вестник технологического университета**. - 2015. - Т.18, № 20. - С.179-181 ( 0,19 п.л. / 0,07 п.л.).

5. Чэн, Ч. Экспериментальное обоснование прогнозирования компрессионного давления под одеждой свободной формы / Ч.Чжэ, М.Го, В.Е.Кузьмичев, И.В.Тисленко. // **Известия вузов. Технология текстильной промышленности**, 2016, № 2, с. 165-172 (0,44 п.л. / 0,11 п.л.)

6. Чэн, Ч. Экспериментальное обоснование прогнозирования компрессионного давления под плотнооблегающей одеждой / Ч.Чжэ, М.Го, В. Е. Кузьмичев, И. В. Тисленко // **Известия вузов. Технология текстильной промышленности**, 2016, № 4, с.91-95 (0,31 п.л. / 0,06 п.л.)

*статьи в журналах и изданиях, индексируемых Web of Science:*

7. Cheng, Z. Development of knitted materials selection for compression underwear (Совершенствование выбора трикотажных материалов для компрессионного белья) / Z.Cheng, V.E.Kuzmichev, D.C.Adolphe // **AUTEX Research Journal**, ISSN 1470-9589, 2017, vol.17, 2, p.177-187, <https://doi.org/10.1515/aut-2016-0006> (0,63 п.л. / 0,4 п.л.)

8. Cheng, Z. Classification of male lower torso for underwear design (Классификация нижней части торса мужских фигур для проектирования белья) // Ч.Чжэ, В. Е. Кузьмичев: IOP Conf. Series: **Materials Science and Engineering**: 17th World Textile Conference AUTEX 2017- Textiles - Shaping the Future /volume 254, 2017, article number 172007, doi:10.1088/1757-899X/254/17/172007 (0, 25 п.л. / 0, 2 п.л.)



9. Cheng, Z. Research of male lower torso for improving underwear design (Исследование подкорпусной части мужских фигур для улучшения проектирования белья) // Z.Cheng, V.E.Kuzmichev // **Textile Research Journal**, 2018, p. 1-19 (1,19 п.л./ 0,6 п.л.), <https://doi.org/10.1177/0040517518775925>

*материалы конференций*

10. Cheng, Z. Analysis of pressure distribution in system "body- men's underwear" (Исследование распределения давления в системе "мужская фигура - белье") / Ч.Чэн, В.Е.Кузьмичев: 14thAUTEXWorldTextileConference. Book of abstracts. – Bursa, Turkey, 2014, p. 45. (0,06 п.л. / 0,03 п.л.)

11. Чэн, Ч. Разработка методики проектирования мужского нижнего белья / Ч.Чэн, В.Е.Кузьмичев: Инновационное развитие легкой и текстильной промышленности: сборник материалов Всероссийской научной студенческой конф. Часть 1. - М.: ФГБОУ ВПО "МГУДТ", 2015 - С.79-82 (0,25 п.л./0,15 п.л.).

12. Чэн, Ч. Development of male underwear compression designing (Совершенствование процесса проектирования мужского компрессионного белья) / Ч.Чэн, В.Е.Кузьмичев, Д.Адольф: 15<sup>th</sup> AUTEX World Textile Conference 2015: Book of abstracts, June 10-12, 2015, Bucharest, Romania, p. 100 (0,06 п.л. / 0,03 п.л.)

13. Чэн, Ч. Разработка антропометрической программы для проектирования мужского белья/ Ч.Чэн, В.Е.Кузьмичев: Новое в технике и технологии текстильной и легкой пром-сти: материалы межд. науч.-техн.конф. 25-26 октября 2015. г. Витебск. - ВГТУ, 2015 (0,25 п.л./0,15 п.л.).

14. Чэн, Ч. Разработка методики проектирования нижнего белья / Ч.Чэн, В.Е.Кузьмичев// Инновационное развитие легкой и текстильной промышленности (ИНТЕКС 2015): сборник материалов Всероссийской научной студенческой конференции. МГУДТ. Москва, 2015, с.79-82 (0,25 п.л./0,15 п.л.).

15. Чэн, Ч. Методика оценки компрессионной способности материалов для корректирующей одежды / Ч.Чэн, В.Е.Кузьмичев // Инновационное развитие легкой и текстильной промышленности (ИНТЕКС 2016): сборник материалов Всероссийской научной студенческой конференции. МГУДТ. Москва, 2016, 5-6 апреля (0,25 п.л./0,15 п.л.).

16. Кузьмичев, В. Men underwear design – main problems and solutions (Проектирование мужского белья – основные проблемы и решения) / В.Е.Кузьмичев, Ч.Чэн: 45<sup>th</sup> International Conference on Computers&Industrial Engineering (CIE45) CIE45 Proceedings, 28-30 October 2015, Metz / France (0,5 п.л. / 0,25 п.л.).

17. Кузьмичев, В.Е. Improving men's underwear design by 3D bodyscanning technology (Совершенствование процесса проектирования мужского белья с использованием технологий бодисканирования)/ В.Е.Кузьмичев, Ч.Чэн // Proceedings of the 7<sup>th</sup> International conference on 3D Bodyscanning technologies. Lugano, Switzerland, 30 Nov. - 1 Dec. 2016, p. 16-20. <http://dx.doi.org/10.15221/16.016> (0,31 п.л./0,2 п.л.)

18. Kuzmichev, V. New data bases for men's underwear design (Новая база данных для проектирования мужского белья) / V.Kuzmichev, Zhe Cheng: 16th AUTECH World Textile Conference 2016, 8-10 June 2016, Ljubljana, Slovenia, Book of abstracts, с.46 (0,06 п.л./0,03 п.л.) .

19. Чэн, Ч. Изучение предпочтений потребителей мужского белья / Ч.Чэн, В.Е.Кузьмичев // Информационная среда вуза: материалы XXII международной науч.-техн. конф.23-25 ноября 2016. ИВГПУ, Иваново, с. 192-195 (0,25 п.л./0,15 п.л.).

20. Чэн, Ч. Men's underwear knitted material properties test and analysis (Исследование трикотажных материалов для мужского белья) / Ч.Чэн, В.Е.Кузьмичев, D.C.Adolphe // 2016 International Conference on Advanced Materials Science and Technology AMST2016 (0,06 п.л./0,03 п.л.)

21. Zhe Cheng. Classification of male lower torso for underwear design (Новая классификация подкорпусной части мужских фигур) / Zhe Cheng, V.Kuzmichev: 17th AUTECH World Textile Conference 2017: Book of abstracts, June 10-12, 2017, Greece (0,06 п.л./0,03 п.л.)

22. Чэн, Ч. Усовершенствованная технология проектирования мужского белья //Ч. Чен, В.Е.Кузьмичев. Информационная среда вуза: материалы XXIVмежд. научн.-техн. конф. 22-23 ноября 2017 года. Иваново, ИВГПУ, с.154-159 (0,38 п.л./0,19 п.л.).

23. Чэн, Ч. Современные решения для конструирования многофункционального мужского белья // Чжэ Чен, В.Е.Кузьмичев. Современные задачи инженерных наук: сборник научных трудов Международного научно-технического симпозиума «Современные инженерные проблемы промышленности товаров народного потребления» Международного научно-технического форума «Первые международные Косыгинские чтения» (11-12 октября 2017 года). Том 1.–М.: ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина», 2017, с.143-147 (0,31 п.л./0,2 п.л.).

Подписано в печать 9 апреля 2019 г.

Формат 1/16 60x84.

Бумага писчая. Плоская печать.

Усл.печ.л. 1,05. Уч.-изд.л. 1,0. Тираж 80 экз. Заказ № 3770

---

ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет»

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

