

На правах рукописи

**Петросова Ирина Александровна**

**РАЗРАБОТКА МЕТОДОЛОГИИ  
ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВНЕШНЕЙ ФОРМЫ ОДЕЖДЫ  
НА ОСНОВЕ ТРЕХМЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ**

*Специальность 05.19.04 – Технология швейных изделий*

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
доктора технических наук

**Москва - 2014**

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Московский государственный университет дизайна и технологии» (ФГБОУ ВПО «МГУДТ») на кафедре художественного моделирования, конструирования и технологии швейных изделий.

**Научный консультант**

доктор технических наук, профессор  
кафедры ХМКТШИ ФГБОУ ВПО «МГУДТ»  
**Андреева Елена Георгиевна**

**Официальные оппоненты:**

доктор технических наук, профессор,  
директор института текстиля и моды  
ФГБОУ ВПО «СПГУТД»  
**Сурженко Евгений Яковлевич**

доктор технических наук, профессор,  
директор филиала ФГБОУ ВПО «МГУТУ  
имени К. Г. Разумовского» в г. Твери  
**Бескорвайная Галина Петровна**

доктор технических наук, профессор  
кафедры сервисных технологий  
ФГБОУ ВПО «ВГУЭС»  
**Шеромова Ирина Александровна**

**Ведущая организация:**

**ФГБОУ ВПО «Костромской государственный  
технологический университет»**

Защита состоится «25» июня 2014 г. в 10:00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.144.01 на базе ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет дизайна и технологии» по адресу: 117997, Москва, ул. Садовническая 33, стр.1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте Московского государственного университета дизайна и технологии.

Автореферат разослан «    » марта 2014 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
Д212.144.01, д.т.н.



Лунина Е.В.

## I. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** Поставленные руководством страны задачи по техническому перевооружению и освоению системных информационных технологий в легкой промышленности, по производству конкурентоспособной наукоемкой продукции мирового уровня обуславливают необходимость внедрения инновационных технологий автоматизированного проектирования одежды в практическую деятельность отечественных швейных предприятий.

Даже на небольших швейных производствах практически вся проектно-конструкторская документация разрабатывается в цифровом формате, что обусловлено как требованиями представления информации для проведения автоматизированной раскладки лекал и раскроя, так и сложившейся в отрасли деловой практикой представления, передачи и архивирования конструкторско-технологических решений одежды. При этом в условиях производства автоматизированы только отдельные стадии процесса проектирования, а именно конструктивное моделирование и изготовление лекал, а исходная антропометрическая информация для проектирования представляется в виде дискретных характеристик типовых фигур, утвержденных стандартами. Повышению степени автоматизации виртуального проектирования на предприятиях препятствуют недостаточная достоверность визуализируемой внешней формы создаваемых швейных изделий и высокая стоимость зарубежного оборудования, позволяющего оцифровывать такие объекты сложной пространственной формы, как фигура человека и образцы готовой одежды.

Разработка отечественных технологий точного виртуального представления внешней формы фигуры человека и образцов проектируемых изделий обуславливает возможность количественного сопоставления параметров трехмерных (3D) поверхностей для анализа антропометрического, динамического и конструктивного соответствия одежды, то есть объективной оценки качества проектных решений новых моделей одежды. Кроме того, наличие достоверной цифровой информации о фигуре конкретного потребителя и проектируемой одежды позволяет корректно проводить виртуальные примерки изделий из промышленной коллекции, представленной на сайте предприятия, что способствует развитию онлайн-продаж выпускаемой продукции и расширению круга оптовых и розничных клиентов из различных регионов страны и мира.

**Степень научной разработанности проблемы.** Многие зарубежные авторы рассматривают современную индустриальную парадигму швейной промышленности с позиции «массовой кастомизации», в том числе в Техасском университете Остина (Хи В., et al., 2003), Техасском университете А&М (Mahfouz A.Y., 2005), Высшей

школе бизнеса Стэнфордского университета (*Jiang K., et al., 2006*), в Вирджинском государственном политехническом институте (*Park H., Kincade D.H., 2010*), Департаменте текстильной и швейной технологии Государственного университета Северной Каролины (*Satam D., et al., 2011*), Миланском политехническом университете (*Carulli M., et al., 2013*), Департаменте дизайна Шанхайского университета Дунхуа (*Liu Y.*), в то время как в России эта проблема до настоящего времени не исследована.

Исследованием различных характеристик внешней формы фигуры человека и научными методами проведения массовых антропометрических обследований занимались такие ученые, как В.В. Бунак, Р.Мартин (1931), Л.П. Николаев (1935), Н. Волянский, Н.С. Смирнова, Т.П. Шагурина, П.Д. Горизонтов, М.Я. Майзелис, Г. Гримм, В.Е. Дерябин, Е.М. Маргорин, В.Г. Властовский, Х.Т. Карме, В.Н. Янина, Я.Я. Рогинский, М.Г. Левин, Е.Н. Хрисанфова, И.В. Перевозчиков, Л.И. Тегако, И.И. Саливон, Ю.С. Куршакова, Т.Н. Дунаевская, П.И. Зенкевич, А.Л. Пурунджан, В.П. Чтецов, Б.А. Никитюк, С.К. Лопандина и др. Высокотехнологичным антропометрическим обследованиям населения в национальном масштабе посвящены зарубежные исследования тайваньских ученых (*Leong I.-F., et al., 2007*), в Турции (*A.Vuruskan, et al., 2011*), в Оклахомском государственном университете (*Petrova A., Ashdown S.P., 2012*), в Германии (*Hlaing E.C. et al., 2013*), что подтверждает актуальность внедрения современных методов виртуального бесконтактного измерения тела человека для массовых обследований населения.

Существенный вклад в разработку проблем получения информации о пространственной форме фигуры человека внесен И.М. и А.И. Семячкиными, Г.Н. Ждановым, В.Г. Поляковым (1976), Л.А. Агошковым и др. (1980), М.Н. Ивановым и др. (1982-83), Л.Ю. Иортом, З.Р. Салиховой (1994), Т.В. Цимбал (2002), Т.М. Сумароковой и др. (2010), с помощью образцов готовой одежды - М.Л. Ворониным, В.У. Несмияном (1982), В.М. Белошицким, В.Д. Щадырь (1989), фотограмметрии - О.В. Покровской, Е.Ю. Кривобородовой (МГУДТ, 2003), Н.Н. Раздомахиным и др. (СПбГУТД, 2005), оптических технологий - В.П. Черновым и др. (СПбГУТД, 2003), В.Я. Колючкиным и др., А.В.Климовым и др. (2003), И.А. Петросовой и др. (МГУДТ, 2005), С.В. Семенякиным и др. (МГУДТ, 2007), ИГТА Н.Л. Корниловой и др. (ИГТА, 2009), Г.Г. Левиным и др.(2011), С.В. Двойнишниковым и др., В.М. Тымкулом и др. (СГГА, 2012-13), кроме того разработке бесконтактных трехмерных измерений посвящены исследования зарубежных специалистов Техасского университета Остина (*Xu B., Sreenivasan S.V., 1999*), Университетского колледжа Лондона и Лондонского колледжа моды (*Bougourd J.P., et al., 2000*), японских (*Y. Cho et al., 2006*), южнокорейских (*Han H. et al., 2010*), (*Kim C. et al., 2010*), и тайваньских ученых (*Leong I.-F.*

*et al.*, 2013), Национального института измерений Великобритании (*Leach R., et al.*, 2011).

Различные подходы к виртуальному представлению фигуры человека в швейной промышленности изучались В.Е. Кузьмичевым (ИГТА, 2012), зарубежными учеными британского Университета Лафборо (*Jones P.R.M., et al.*, 1995), Университета Южной Флориды (*Piegl L.A., Tiller W.*, 2000), Калифорнийского университета (*Zhao H.-K., et al.*, 2000), Техасского университета в Остине (*Xu B., Huang Y.*, 2003), (*Tan K.T.W., et al.*, 2003), Швейцарского федерального института технологий в Цюрихе (*Remondino F.*, 2004), Корнуэльского университета (*Loker S., et al.*, 2004), университетов Шанхая (*Ma Y.-Y., et al.*, 2004), Китайского университета Гонконга (*Wang C.C.L.*, 2005), Государственного университета Райта в Дейтоне (*Zagorchev L., Goshtasby A.*, 2006), Университета Генуи (*Floriani L., Spagnuolo M.*, 2008), Аризонского государственного университета (*Yin X., et al.*, 2009), Университета Сан-Пауло (*Costa L., Cesar Jr.*, 2009), Кембриджского университета (*Chen Y., Cipolla R.*, 2011), Департамента швейной промышленности Университета Айовы и Сеульского университета (*Park S.M. et al.*, 2011), Национального Исследовательского Совета Канады (*Wuhrer S., et al.*, 2011), Университета штата Нью-Йорк в Стоуни-Брук (*Zhao X., et al.*, 2012), Государственных университетов Айовы и Канзаса (*Lee Y.-A., et al.*, 2012), Дрезденского университета (*Hlaing E.C. et al.*, 2013), Бэйхангского университета Пекина (*Chen X., et al.*, 2013), однако на настоящий момент отечественные технологии виртуального представления фигур потребителей отсутствуют.

В этом направлении также следует отметить ряд современных исследований создания 3D модели фигуры человека и ее динамической трансформации швейцарских ученых (*Aubel A., Thalmann D.*, 2004; *Magnenat-Thalmann N., Thalmann D.*, 2005), мексиканских (*Gutiérrez A.M., et al.*, 2007), итальянских (*Attene M. et al.*, 2009), японских ученых (*Cho Y.S. et al.*, 2010), в Корейском институте передовой науки и технологии и Женевском университете (*Oh S., et al.*, 2005), новозеландских ученых из Университета Окленда (*Oberhofer K., et al.*, 2009), в Департаменте текстильной и швейной промышленности Корнельского университета (*Choi S., Ashdown S.*, 2011), в Шанхайском университете Дунхуа и Государственном университете Айовы (*Zong Y., et al.*, 2011), (*Kasap M., Magnenat-Thalmann N.*, 2011), Гонконгском университете науки и технологии (*Chen Z., et al.*, 2013), (*Lee J.Y.-C., Joneja A.*, 2014),.

В швейной отрасли проводятся исследования в области проектирования и производства одежды, которые учитывают особенности телосложения индивидуальных потребителей, такими учеными, как И.В. Лашина (ОГУИС), Л.П.

Шершнева, Г.П. Бескорвайная (МГУТУ), П.И. Рогов, Н.М. Конопальцева, Т.В. Медведева (МГУС), Е.Б. Коблякова, Е.Б. Булатова, Е.К. Волкова, Ц.С. Ду, Е.Ю. Кривобородова, Г.С. Овсепян (МГУДТ) и др. Возможность проектирования соразмерной одежды изучалась в работах американского университета Айовы (*Kim H., Damhorst M.L., 2010*), исследователей Института охраны труда и здоровья Моргантаун Западной Вирджинии (*Hsiao H., et al., 2003*), Эгейского университета (*Мрампа M.L., et al., 2010*), Калифорнийского университета Лонг-Бич и Обернском университете штата Алабама (*Aghekyan M., et al., 2012*), Университета Миннесоты (*Sohn M., et al., 2012*), Сеульского и Корнельского университетов (*Song H.K., Ashdown S.P., 2013*). Вместе с тем, следует отметить, что количественные параметры, характеризующие внешнюю форму одежды остаются малоизученными.

Подход 3D реконструкции объемной формы «*shape-from-silhouette*» предложен (А. *Laurentini, 1994*), развит в Шанхайском университете Дунхуа (*Li J., Chen J., 2009*), Национальном университете Йокогамы (*Hirano D., et al., 2009*), испанских университетах Кордобы (*Díaz-Más L., et al., 2012*) и Барселоны (*Haro G., 2012*). Следует отметить, что автором диссертации данный алгоритм был реализован в рамках выполнения НИОКР уже в 2010 г.

Ряд основополагающих проблем представления и проектирования одежды в трехмерной виртуальной среде рассматривается такими отечественными учеными, как И.С. Зак, Р.И. Сизова, О.Д. Марченко (ЦНИИШП, 2000), Н.Н. Раздомахин, Е.Я Сурженко, А.Г. Басуев, С.В. Наумович (СПбГУТД, 2006), М.В. Андреева, Т.Ю. Холина (Ассольт), А.Ю. Рогожин, А.И. Мартынова, Е.Г. Андреева, Е.В. Курбатов, В.В. Гетманцева, М.А. Гусева, Ю.В. Линник, Е.Ю. Струневич, М.В. Киселева, М.Т. МаксUTOва, Л.О. Гальцова, М.С. Бояров (МГУДТ), Г.И. Сурикова, О.В. Сурикова, В.Е. Кузьмичев (ИГТА, 2004), А.Г. Шипунов и др. (2008), Л.В. Сильчева, Т.В. Медведева (МГУС, 2009). 1990 г. Метод интерактивного виртуального проектирования одежды был предложен британскими учеными Королевского университета в Белфасте Б. Хиндсом и Дж. МакКартни (*Hinds B.K., McCartney J., 1990*) и развит исследователями Китайского университета Гонконга (*Wang C.C.L., et al., 2003-05*), китайскими (*Song Y., 2004; Wu L.W., 2006; Hu Z.-H., et al., 2008; Wang R., et al., 2009*) и японскими изобретателями (*Koyama S. et al., 2005*), американскими учеными (*Sayem A.S.M., et al., 2010; Hu X., Xu B., 2010; Zeng B.L., 2011*) и многими другими, однако до сих пор эта методология недостаточно проработана для эффективного практического использования в швейной промышленности.

Вопросами оценки качества одежды занимались такие ученые, как Е.Б. Коблякова (МТИЛП, 1976-79), Л.П. Шершнева (РосЗИТЛП, 1985), П.П. Кокеткин, М.В. Сафронова, Т.Н. Кочегура (ЦНИИШП, 1989), Т.В. Медведева (МГУС, 2005),

проблемой эргономического соответствия одежды - Е.Я. Сурженко (СПбГУТД, 2001), В.Ц. Раднатаров, С.В. Павлова (ВСГТУ, 2002), изучением дефектов одежды - Н.А. Рахманов, С.И. Стаханова (МТИЛП, 1979), О.К. Суворова (КНУТД, 2000), И.А. Слесарчук, Т.П. Олейник (ВГУЭС, 2000), Ю.В. Кислицина (ОГИС, 2005), Л.В. Саввон (ЮУрГУ, 2011), Л.С. Мхитарян (2008), И.Б. Косинец (2013), эстетической оценки дизайна изделий - В.Ю. Медведев (СПбГУТД, 2006), автоматизацией оценки качества одежды - Ю.В. Кислицина (ОГИС, 2005), следует отметить и ряд зарубежных ученых, работающих в этом направлении, в Британском текстильном институте (*Fan J., et al., 2004*), Австралийском технологическом университете Суинберна (*Grundy J., 2008*), в Корнуэльском университете (*Loker S. et al., 2005*), Шанхайском университете Донхуа (*Xu J.H. et al., 2008*), Институте текстиля и одежды Гонконгского политехнического университета (*Zhu S., et al., 2013*), в Департаменте швейных и текстильных изделий Чунгнамского национального университета (*Lee Y., Hong K., 2013*) и другими, тем не менее виртуальные проектные решения остаются недостаточно достоверными для проведения промышленных виртуальных примерок.

Теоретической основой анализа роли онлайн-продаж в промышленном жизненном цикле одежды стали работы зарубежных ученых Гонконгского научного технологического университета (*Luo Z. et al, 2005*), Миланского политехнического университета (*Cugini U., et al., 2008*), Университета Миннесоты и Института искусств Далласа (*Bye E., et al., 2010*), американских (*Kozar J.M., Damhorst M.L., 2009*), южнокорейских (*Sul I.H., Kang T.J., 2010*), бельгийских (*Daanen H.A.M., Byvoet M.B., 2011; Smeets D., et al., 2012*), сингапурских исследователей (*Premachandran V., Kakarala R., 2013*), Калифорнийского государственного университета (*Kim D.-E., LaBat K., 2013*), Французского университета в Лилле (*Tao X., Bruniaux P., 2013*), однако до сих пор практика организации интерактивных онлайн-продаж швейных изделий российскими производителями не получила должной теоретической основы.

Проведенный обзор современных отечественных и зарубежных исследований свидетельствует об **актуальности** разработки теоретических и методологических основ виртуального представления внешней формы поверхности фигуры человека и одежды, объективной оценки соответствия проектируемых швейных изделий техническому заданию в трехмерной виртуальной среде. Актуальность разработки отечественной технологии трехмерного сканирования обусловлена необходимостью снижения технологической зависимости отрасли от зарубежных стран, обеспечения процесса импортозамещения и увеличения объемов выпуска конкурентоспособной российской продукции для населения.

Актуальность проблемы, недостаточная разработанность представлений о визуализации фигур человека и внешней формы одежды, подходов к оценке их

достоверности predeterminedili выбор темы диссертационной работы и основные направления исследования.

**Цель и задачи исследования.** *Цель* диссертационной работы состоит в решении научной задачи формирования методологии виртуального проектирования внешней формы одежды и оценки качества проектных решений с помощью созданной технологии трехмерного сканирования для повышения эффективности швейного производства и удовлетворенности населения отечественной продукцией.

Для достижения поставленной цели в работе поставлены и решены следующие *задачи*:

- исследовать существующие способы определения антропометрических характеристик фигуры человека и систематизировать способы виртуального представления фигуры человека и проектирования внешней формы одежды в САПР;
- разработать концепцию процесса проектирования внешней формы одежды на основе формирования трехмерных виртуальных моделей одежды, отличающихся высокой степенью соответствия антропометрическим характеристикам фигур, техническому эскизу дизайнера и готовым образцам изделий;
- разработать метод бесконтактного трехмерного измерения антропометрических параметров тела человека в статике и динамике и изучения поверхности внешней формы одежды, отличающийся высокой точностью;
- предложить количественные критерии и метод объективной оценки качества проектных решений по всему процессу виртуального автоматизированного проектирования одежды;
- апробировать и внедрить предлагаемые решения в промышленности.

**Объектом исследования** выбран процесс проектирования внешней формы одежды. **Предметом исследования** являются типовые и нетиповые фигуры человека в статике и динамике, проектные решения и образцы одежды различного назначения.

**Область исследования.** Работа выполнена в соответствии с п. 1, 2, 3, 5 Паспорта специальности 05.19.04 - Технология швейных изделий (технические науки).

**Методология исследования** базируется на использовании общенаучных методов исследования, позволяющих решить поставленные задачи: анализе и синтезе теоретического и практического материала, группировке и сравнении, научной абстракции и прогнозировании, индукции и дедукции, структурно-динамическом анализе, математическом и имитационном моделировании, а также на системном подходе, что обеспечивает достоверность и целостность диссертационного исследования.



В работе использованы теоретические основы метрологии, методы обработки изображений и компьютерного зрения, элементы векторной алгебры, аналитической, дифференциальной и численной геометрии, методы компьютерной графики и возможности аппаратных вычислительных средств. В ходе исследования применялись методы систематизации и классификации, экспертных оценок, методы статистического, факторного, корреляционного и регрессионного анализа, использовались методы алгоритмизации и программирования, теоретические и практические знания в области создания интеллектуальных трехмерных САПР, инженерные методы получения развёрток деталей одежды для типовых и индивидуальных фигур.

Для решения задач визуализации и операций над трёхмерными изображениями использовались свободные программные библиотеки *GraphicsMagick* и *VTK*, модифицированный алгоритм Беллмана-Форда, языки программирования *C++* и скриптовый язык высокого уровня *Tcl*, а также операционная система *Microsoft Windows 7*, система компьютерной алгебры *Maxima* и ряд специализированных САПР одежды.

Наиболее существенные результаты, составляющие **научную новизну** и выносимые на защиту:

1. Разработана научная концепция процесса проектирования внешней формы одежды с применением технологии *3D* сканирования на всех этапах промышленного жизненного цикла изделия от создания виртуальной *3D* модели фигуры до интерактивного виртуального представления промышленной коллекции на фигурах потребителей для онлайн-продаж выпускаемой продукции, направленная на сокращение сроков выхода на рынок и реализации новой продукции.
2. Предложена научная концепция «массовой кастомизации» швейной промышленности как совокупности подходов массового производства и индивидуального пошива одежды при внедрении трехмерных САПР одежды и возможной персонализации проектирования или дистанционного подбора изделий, направленная на повышение удовлетворенности потребителей швейными изделиями.
3. Разработана новая методология изучения объектов сложной формы, позволившая повысить точность измерений широкого спектра параметров поверхности объектов, включая человеческие фигуры и образцы одежды, расширяющая границы применимости полученных результатов, благодаря цифровому формату данных и достоверному представлению объекта в виде виртуальной *3D* модели.
4. Предложено оригинальное научное суждение о формировании совокупности методических приёмов бесконтактного исследования, оцифровки и измерения

сложных пространственных объектов, базирующейся на принципах универсальности и открытости и получившей название «мурусометрии» (*Патент РФ 2311615 «Способ бесконтактного определения проекционных размеров объекта и получения его трехмерной модели»*).

5. Введены новые понятия и термины технологии трехмерного сканирования, даны их определения, в том числе «мурус» как система технического зрения для создания цифровых трехмерных моделей и определения заданных метрических параметров поверхностей сложных форм, «*виртуальный измерительный инструмент*» как знание о математических зависимостях между координатами эталонного и измеряемого объектов, «*эталонная матрица*» как закономерность расположения меток, содержащих метрическую информацию, «*материальная матрица*» как объект с нанесенными метками, «*отображение материальной матрицы*» как информация о координатах каждой метки материальной матрицы, полученных считывающим устройством.

6. Установлены математические зависимости между координатами эталонного и измеряемого объектов, действующие для широкого круга поверхностей различных размеров и пространственных форм.

7. Предложен принципиально новый виртуальный измерительный инструмент, представляющий собой модуль автоматического математического преобразования информации о координатах всех точек поверхности исследуемого объекта в цифровые данные виртуальной среды.

8. Разработаны методы формирования виртуальных измерительных инструментов на основе считывания в каждой метке: 1) изменения пропорционального содержания и интенсивности трёх различных цветов; 2) формы и величины контрастных геометрических фигур; 3) графических примитивов в виде двух линий различной толщины, разделённых пробелом, соответствующих определенным цифрам, то есть элементов штрих-кодов.

9. Разработан метод проектирования трехмерных виртуальных и материальных моделей фигур, шаблонов внутренней и внешней формы одежды путем послойного моделирования (*Патент РФ 2388606 «Способ получения трехмерного объекта сложной формы»*).

10. Разработано математическое обеспечение алгоритма определения координат точек поверхности фигуры человека и одежды на основе информации о поверхности измеряемого объекта, полученной считывающими устройствами.

11. Разработан метод проектирования внешней формы одежды на основе трехмерного сканирования (*Свидетельство о государственной регистрации*

*программы для ЭВМ № 2013611419 «Система виртуального моделирования женской одежды»).*

12. Разработан и математически обоснован метод оценки достоверности виртуального представления 3D моделей фигур и проектируемых изделий в САПР одежды на основе сопоставления дискретной модели объекта и облака точек, полученного в результате 3D сканирования.

13. Разработан метод объективной оценки качества проектных решений одежды по соответствию виртуальной 3D модели готового образца одежды замыслу дизайнера, выраженному в эскизе, и 3D модели проектируемого изделия.

14. Предложены количественные критерии и метод объективной оценки антропометрического соответствия проектируемых швейных изделий параметрам заданных фигур в статике и в динамике путем автоматизированного сопоставления установленного перечня параметров одежды, лекал, эскиза и фигуры человека, отраженных в виртуальной среде.

***Теоретическая значимость исследования*** обоснована решением научной проблемы разработки нового подхода к визуализации информации о внешней формы одежды и фигуры человека при виртуальном проектировании изделий на основе технологии 3D сканирования и разработки инструментальных средств его поддержки, а также изложением элементов теории оценки качества проектных решений одежды, представленных в цифровом виде, на основе автоматизированного сопоставления объективных количественных критериев с помощью 3D сканирования и интерактивного визуального анализа субъективных качественных критериев.

***Значение полученных соискателем результатов исследования для практики*** подтверждается тем, что:

1. Разработано теоретическое, методологическое, информационное, техническое, аппаратное и программное обеспечение технологии 3D сканирования для создания системы 3D сканирования, являющейся принципиально новым средством измерений и имеющей нормированные метрологические свойства (*Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ «Бесконтактный измерительный комплекс»*).

2. Разработана процедура виртуальной автоматизированной оценки антропометрического соответствия проектируемых швейных изделий путем сопоставления параметров 3D эскиза и 3D модели фигуры человека, отсканированной или выбранной из базы данных типовых 3D виртуальных манекенов в САПР, для последующей корректировки параметров лекал изделия.

3. Разработан способ автоматизированного виртуального сравнения внешней формы готового изделия с любой индивидуальной или типовой фигурой, что способствует интерактивной онлайн-продаже промышленной коллекции.

4. Разработаны и внедрены на швейных предприятиях образцы стационарной и мобильной систем 3D сканирования, применение которых позволило улучшить качество посадки проектируемых изделий, повысить удовлетворенность потребителей продукцией конкретного производителя, увеличить продажи выпускаемой продукции и эффективность швейного производства.

5. Внедрены новые универсальные методики измерений для проведения массовых антропологических обследований женского населения Республики Таджикистан с помощью разработанной мобильной системы 3D сканирования.

*Достоверность результатов и проведенных исследований* подтверждается применением современных методов исследования, апробацией основных положений диссертации в научной периодической печати и на конференциях, а также патентами, актами внедрения и производственной апробации.

*Личный вклад соискателя* состоит в общей постановке задачи, выборе методов и направления исследования, выполнении научных экспериментов, обработке и интерпретации экспериментальных данных, личном участии в проведении массовых антропометрических обследований. При непосредственном участии соискателя и под его руководством выполнены все исследования в лабораторных условиях, на производственных предприятиях, разработаны экспериментальные установки, опытные образцы, проведены испытания в условиях швейного производства, подготовлены публикации по результатам исследований.

#### ***Апробация и внедрение результатов исследования.***

Теоретические положения, выводы и практические рекомендации диссертационной работы были представлены, обсуждены и одобрены в 2010-2013 гг. на следующих конференциях: *межвузовских* по применению информационных технологий в образовательной, научной и управленческой деятельности (МГУДТ, 2009-13), IV Московский фестиваль науки (2009), *по профессиональному образованию в области технологии, конструирования изделий легкой промышленности*: «XII Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «Развитие уровневой системы профессионального образования» (Москва, 2011), V Международная научно-практическая конференция «Перспективы применения инновационных технологий и усовершенствования технического образования в высших учебных заведениях стран СНГ» (Душанбе, 2011) и *международных* по использованию современных наукоемких инновационных технологий в текстильной и легкой промышленности: «Актуальные проблемы науки в развитии инновационных

технологий для экономики региона (ЛЕН-2010)» (Кострома, 2010), «*II International conference development trends in textile industry design /technology/management*» (Belgrade/ Сербия, 2010), «Семинар стипендиатов российско-германских программ "Михаил Ломоносов" и "Иммануил Кант"» (Москва, 2011); «Проблемы и пути развития легкой промышленности Таджикистана» (Худжанд, 2013); *по вопросам моды и дизайна: «Korea-China International Conference «Fashion Connecting»* (Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou/ Китай, 2012); 9 международная научно-практическая конференция «Настоящие исследования и развитие-2013» (январь, 2013, София); 10 международная научная практическая конференция «Будущие исследования-2013» (февраль, 2013, София).

Результаты диссертационных разработок отмечены дипломами выставок IX Московского международного салона инноваций и инвестиций (2009), IV Московского Фестиваля Науки (2009), IX и XII Всероссийских выставках НТТМ (диплом первой степени – 2009, 2012), Международной выставки информационно-коммуникационных технологий *SeBIT* в 2013-м и 2014-м годах (Ганновер, Германия), где разработка была представлена в объединённой российской экспозиции Министерства образования и науки РФ.

В рамках реализации важнейших проектов государственного значения по приоритетным направлениям в области базовых и критических военных, специальных и промышленных технологий результаты диссертационного исследования Петросовой И.А. нашли отражение в выполненных научно-исследовательских работах: «Разработка теоретических основ бесконтактного муросометрического метода изучения объектов сложной формы» (Минобрнауки РФ, 2010); «Бесконтактные методы изучения объектов сложной формы и способы получения трехмерной модели» (Целевая программа «Развитие научного потенциала высшей школы», Минобрнауки РФ, 2009-11); «Разработка современных требований к квалификации работников инновационных предприятий лёгкой и текстильной промышленности» (Минпромторг РФ, 2011); «Разработка рационального ассортимента и технологии проектирования многофункциональной детской одежды для стационарных больных» (Минпромторг РФ, ОАО ЦНИИШП», 2012).

В рамках разработки проектов по техническому перевооружению и развитию отраслевой науки автором были разработаны образцы мобильной и стационарной систем трехмерного сканирования, предназначенные для промышленного внедрения на швейных предприятиях внедрения, при выполнении работ по Госконтрактам Минпромторга ООО «Центр инновационных стратегий» и ФГОБУВПО «Московский государственный университет дизайна и технологий» № 10411.0816900.19.046 от 13.04.2010 «Разработка бесконтактного измерительного комплекса для производства

продукции легкой промышленности»; № 11411.0816900.19.050 от 13.04.2011 «Разработка систем автоматизированного проектирования конкурентоспособных текстильных изделий»; № 12411.0816900.19.076 от 03.04.2012 «Разработка автоматизированной системы параметрического моделирования одежды сложных форм».

Отчеты депонированы в ЕФБД НИОКР ФГАНУ «ЦИТиС», имеют соответствующие государственные регистрационные и инвентарные номера.

В рамках научной стажировки автора по российско-германской программе DAAD и Минобразования РФ «Михаил Ломоносов» (2010) была проведена апробация полученных научных результатов в «Университете прикладных наук Кайзерслаутерн» и научно-производственном предприятии «*ONE-TWO-SHOE*» (г. Трир, Германия), что подтверждено соответствующими актами.

Основные результаты исследования нашли практическое применение на швейном предприятии ООО «Этника» (г.Москва) при изготовлении корпоративной одежды для ОАО «Сбербанк России», ОАО «Аэропорт Внуково», ОАО «Газпром», ОАО «Авиационная Компания Атлант-Союз», ООО «Ям Ресторантс Раша» (сеть ресторанов КФС), ЗАО «Банк Русский Стандарт», ООО «Хоум Кредит энд Финанс Банк», ОАО «Первый канал», ОАО «Торговый дом ГУМ», ООО «Ресторация Боско» с помощью разработанных систем трехмерного сканирования, позволивших улучшить качество посадки одежды, повысить удовлетворенность потребителей и сократить издержки производителя. В производственных условиях ООО «Униформа» (г.Демидов Смоленской обл.) внедрен способ проектирования одежды для индивидуальных потребителей промышленного производства с помощью трехмерного сканирования, который позволил дистанционно представлять заказчику виртуальные 3D модели проектируемых изделий на заданных фигурах, что привело к росту продаж и эффективности швейного производства. Результаты диссертационных исследований прошли промышленную апробацию на швейных предприятиях ООО «Бизнес-Партнер», ООО «Анна Тарес», ООО «Классик-Дизайн», ООО «Дизайн Люкс» (Москва) при виртуальном моделировании женской одежды с использованием трехмерного сканирования. Предложенный метод оценки проектных решений одежды внедрен в производственную деятельность ООО «Т-Логист» (Москва), что подтвердило эффективность количественной оценки виртуальной 3D модели проектируемого изделия и готовых образцов одежды эскизу дизайнера и заданным фигурам. В условиях ООО «Трикотажлюкс» и ООО «Т-Логист» (г.Москва) реализован метод подбора потенциальными розничными покупателями соразмерной одежды из промышленной коллекции. Получено подтверждение ООО «Венова», аккредитованного венчурного партнера ОАО «Российская венчурная компания» о

намерении принять участие в коммерциализации и развитии разработанных технологий в качестве виртуальной примерочной для изготовления и дистанционных продаж швейных изделий с перспективой вывода разработки на зарубежные рынки. Апробация и внедрение подтверждены соответствующими документами.

Основные рекомендации исследования также были использованы для проведения массовых антропометрических обследований женского населения Республики Таджикистан в 2010-13 гг. по предложенной программе измерений в сотрудничестве с Худжандским политехническим институтом Таджикского технического университета им. Академика М. Осими с помощью разработанной системы 3D сканирования, результаты которых были внедрены Государственным Центром по стандартизации, метрологии, сертификации и инспекции торговли.

Материалы диссертации используются кафедрой «Художественное моделирование, конструирование и технология швейных изделий» ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет дизайна и технологий» при выполнении курсового и дипломного проектирования студентами по специальности 260902 «Конструирование швейных изделий», бакалаврами и магистрами по направлениям подготовки 262000 «Технология изделий легкой промышленности» и 262200 «Конструирование изделий легкой промышленности», при разработке учебных пособий «Антропометрические исследования для конструирования одежды» и «Информационное обеспечение профессиональной деятельности. Моделирование геометрических объектов в среде универсальной САПР».

Внедрение подтверждено соответствующими документами.

**Публикации.** По материалам диссертации опубликовано 47 работ, общий объем которых составляет 77,61 п.л. (личного вклада 30,49 п.л.), в том числе 14 статей в журналах, рекомендованных ВАК для опубликования основных научных результатов докторских диссертаций, депонировано 6 рукописей работ в организациях государственной системы научно-технической информации, 11 статей в других научных и отраслевых журналах, 10 статей в сборниках научных трудов и материалов докладов, 4 патента, 2 свидетельства на программы.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, шести глав, выводов по главам и работе в целом, библиографического списка, включающего 564 наименования, 11 приложений, содержит 30 таблиц и 193 рисунка. Объем работы составляет 412 страниц текста без учета приложений.

## **II. ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**В первой главе** систематизированы виды и способы получения информации о поверхности фигуры человека, необходимой достоверного отображения фигуры в виртуальной трехмерной (3D) среде и экспорта в САПР одежды, классифицированы

по уровням получения, обработки и применения данных. Исследованы способы обеспечения процесса автоматизированного проектирования одежды цифровой информацией о пространственной форме фигур потребителей и замены субъективно-визуальной оценки телосложения количественной оценкой параметров поверхности человеческого тела. Анализ публикаций зарубежных исследований свидетельствует о высокой неудовлетворенности населения соразмерной и хорошо сидящей на фигуре одеждой, что во многом определяется недостаточностью антропометрической информации и некорректностью ее использования потребителями в глобальном масштабе.

Предложена классификация методов изучения внешней формы фигуры человека и определения ее параметров, включая использование национальных стандартов типовых фигур; традиционных контактных измерений индивидуальных фигур; механических устройств и приспособлений; фото, видео, оптического, лазерного, электронного и компьютерного оборудования со световым, тепловым или инфракрасным излучением; автоматического *3D* сканирования; сопоставления с эталоном.

Исследованы и систематизированы способы виртуального *3D* представления внешней формы фигуры человека, в том числе по уровню подобия синтезированного изображения реальной картине с учетом физических, физиологических или психологических характеристик, а также по способу описания топологии виртуальных *3D* моделей. Проведен сравнительный анализ систем *3D* сканирования, применяемых в швейной промышленности, по уровню обработки и преобразования информации о поверхности, по видам устройств для считывания информации, по способу измерений и виду получаемой информации, по скорости измерений, преимуществам и недостаткам.

Определены основные принципы «массовой кастомизации» как одного из эффективных направлений развития мировой швейной промышленности: объединение подходов массового и индивидуального производства одежды; внедрение в производство интеллектуальных *2D* и *3D* САПР одежды; возможность персонализации проектирования одежды и проведения достоверных виртуальных примерок; организация интерактивных онлайн-продаж одежды производителями.

Установлено, что успешность виртуального взаимодействия производителей с покупателями путем представления в интернете промышленной коллекции или организации ее онлайн-продаж зависит от возможности поиска, аккумуляции, систематизации и преобразования антропометрической информации о потенциальных потребителях продукции, что свидетельствует о необходимости разработки отечественной системы *3D* сканирования, способной с высокой точностью и



скоростью определить параметры внешней формы фигуры потребителя и примеряемой одежды и обеспечить их визуализацию в виде достоверных виртуальных 3D моделей.

Выявлены основные проблемы реализации отечественной технологии 3D сканирования: выбор оборудования для считывания информации о топологии поверхности объекта; координация слияния баз данных, полученных различными инструментами; аппроксимации поверхности из массива цифровых неорганизованных данных сканирования; создание программного обеспечения для получения, преобразования и визуализации данных о поверхности.

Сформулированы требования к разрабатываемой системе бесконтактного измерения параметров внешней формы тела человека и одежды, включающие: автоматическое распознавание объектов произвольной формы и определение координат различных точек поверхности; возможность построения 3D модели объекта и определения любых заданных параметров поверхности; достоверность представления внешней формы виртуальных 3D моделей в соответствии с пространственной формой реальных объектов; сохранение данных в форматах, подходящих для САПР одежды; высокая скорость и точность измерений; невысокая стоимость аппаратного оборудования и программного обеспечения, доступная для российских швейных предприятий.

*Во второй главе* систематизированы и классифицированы САПР одежды, применяемые в мировой швейной промышленности, по архитектуре процесса, последовательности действий, сценариям проектирования различных силуэтов, способам построения поверхности одежды, подготовки проектно-конструкторской документации, основным характеристикам и описанию типов получаемых моделей. Установлено, что, несмотря на высокий уровень визуализации проектируемых изделий и реалистичности фигур потребителей, в настоящее время не обеспечена достоверность виртуального представления фактической внешней формы одежды и на рынке отсутствуют САПР одежды, способные обеспечить плоскостную развертку виртуальных образцов в промышленных условиях.

Систематизированы существующие подходы к симулированию поведения материалов в изделии на фигуре человека и конвергенции точек 3D модели ткани и представлены в виде классификации. Выявлено, что реализм имитационных моделей поведения ткани в одежде может быть обеспечен установлением взаимосвязи между прогнозируемыми параметрами материалов в одежде и полученными в результате 3D сканирования отшитого образца.

Глобализация, автоматизация и компьютеризация процессов проектирования и изготовления одежды обуславливают необходимость оценки качества проектных

решений в удаленном режиме и в электронном виде, что требует разработки объективного инструментария для поэтапного контроля процесса виртуального проектирования в направлении оценки: антропометрического соответствия проектируемых швейных изделий параметрам фигуры человека; соответствия проектируемого изделия заданному эскизу; степени и корректности прилегания одежды к различным участкам поверхности тела человека; уровня давления материала на тело человека, его растяжения и направления основных напряжений; соответствия проекционных зазоров в изделии заданным конструктивным прибавкам; достоверности виртуальной примерки швейных изделий на виртуальном манекене фигуры потребителя; возможных дефектов, причин возникновения и способов корректировки.

Разработана концепция процесса проектирования внешней формы одежды на всех этапах промышленного жизненного цикла изделия, предполагающая возможность выбора производителем различных модулей САПР одежды наряду с традиционным процессом проектирования благодаря сквозному или локальному применению технологии 3D сканирования для поэтапного контроля за параметрами проектируемого изделия в виде эскиза, виртуальной модели, лекал или виртуального представления в промышленной коллекции на сайте производителя (рис.1). Именно контроль за преобразованием цифровой информации об изделии в 2D и 3D виртуальной среде проектирования и возможность объективной количественной оценки оцифрованных проектных решений способствует внедрению 3D САПР в швейное производство.



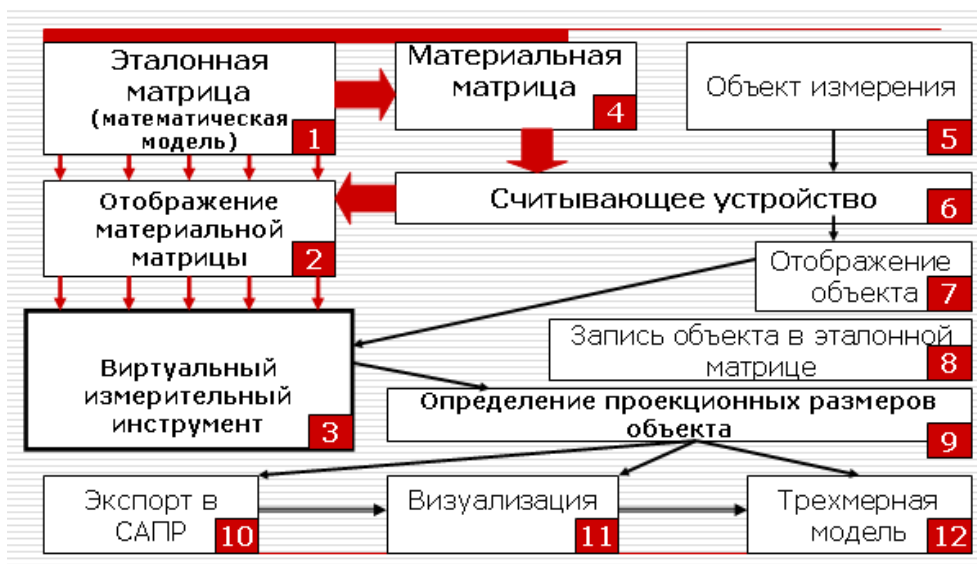
**Рисунок 1 – Концепция единой среды проектирования промышленного жизненного цикла изделия**

*В третьей главе* представлены результаты теоретических исследований, направленных на решение научной проблемы, лежащей в основе разработки технологии 3D сканирования объектов сложной пространственной формы, состоящей в получении информации о координатах любой точки поверхности исследуемого объекта и о взаимном расположении точек относительно друг друга. Сущность технологии 3D сканирования определена как последовательность действий, обеспечивающей получение исходной информации, необходимой для построения виртуальной трехмерной дискретной модели фигуры человека, одежды или любого другого пространственного объекта. Сформулированы принципы универсальности и открытости отечественной технологии 3D сканирования, заключающиеся в возможности оцифровывать любые сложные пространственные объекты и обеспечить по запросу широкий диапазон размерных характеристик и иных параметров поверхности измеряемого объекта.

Определено место «муроуметрии», как совокупности методических приёмов бесконтактного исследования и определения параметров поверхности объектов сложной формы, среди известных подходов к измерению фигуры человека, выявлены отличительные черты и преимущества предлагаемой технологии, обеспечивающей одновременное бесконтактное получение достоверной визуальной и метрической информации о поверхности объекта, в то время как контактные методы измерений корректно обеспечивают получение только метрических данных, а оптические методы - только визуальной информации. Муроуметрия предполагает широкий диапазон устройств считывания информации о поверхности изучаемых объектов и способов ее дальнейшего преобразования, принципиально отличающихся друг от друга. Взаимосвязи в организационной структуре разрабатываемого метода измерений объектов сложной формы отражены на рисунке 2.

Отличительной чертой предлагаемой технологии является создание *виртуального измерительного инструмента (ВИИ)*, включающего в себя эталонную и материальную матрицы, считывающие устройства и отображения материальной матрицы.

*Эталонная матрица* представляет собой какую-либо закономерность расположения меток, содержащих метрическую информацию. Эталонную матрицу *1* (рис. 2) можно представить в виде математической модели, позволяющей определить эталонные координаты каждой метки материальной матрицы. В качестве метки может использоваться точка, геометрическая фигура заданной формы и/или цвета, линия штрих-кода, элемент оптической записи и т.д., и их всевозможные сочетания между собой. Метка должна быть выполнена в виде, доступном для распознавания считывающим устройством.



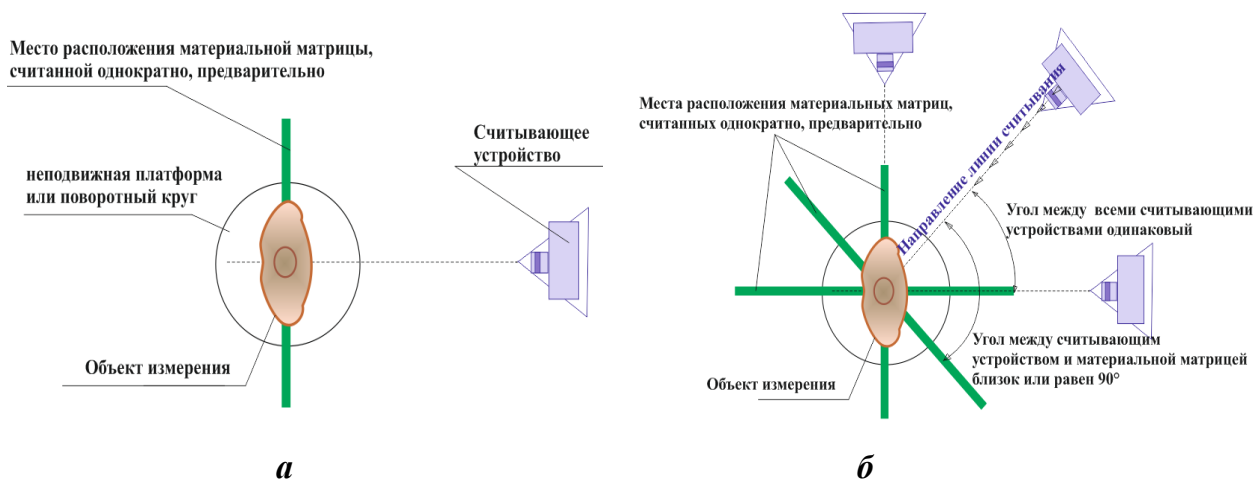
**Рисунок 2 - Организационная структура бесконтактного метода измерений поверхности объектов**

*Материальная матрица* представляет собой материальный объект с нанесенными на него метками. Материальная матрица может быть изготовлена из листа бумаги, стекла, ткани, кристаллической решетки и т.д. Материальную матрицу **4** получают с помощью современных технических средств по заданной эталонной матрице **1**. *Отображение материальной матрицы* **2** создают с помощью считывающего устройства **6**, переносят информацию в базу данных компьютера и обрабатывают. *ВИИ* **3** получают путем определения эталонных координат каждой отображенной метки материальной матрицы, каждая метка *ВИИ* несет в себе эталонную метрическую информацию, с помощью которой определяют координаты любой точки исследуемого объекта.

*Плоское эталонное визуализированное изображение объекта* получают с помощью компьютерных программных средств путем визуализации записи объекта в эталонной матрице. *Стереοизображение объекта* получают путем совмещения координат каждой метки двух плоских визуализированных изображений с помощью нескольких считывающих устройств одновременно или каждым поочередно. *Трехмерную модель объекта* получают путем совмещения координат каждой метки нескольких плоских эталонных визуализированных изображений объекта, полученных из разных направлений.

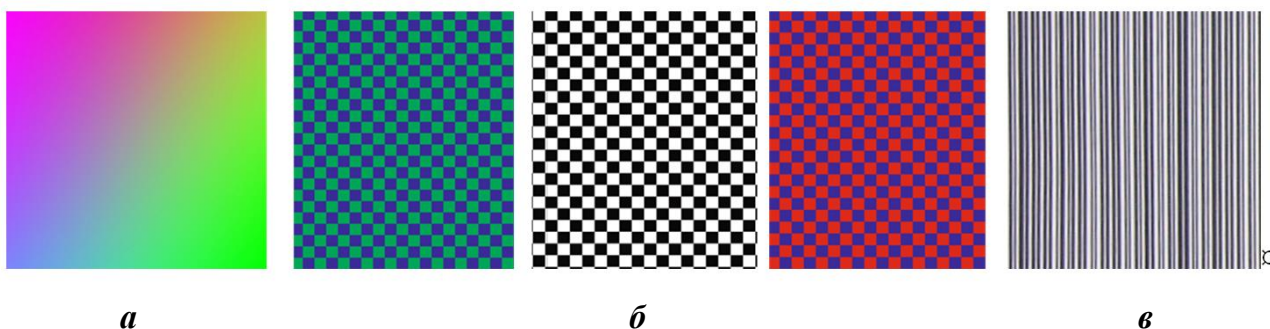
Выделена универсальная последовательность действий, характерная для всех модификаций предлагаемой системы *3D* сканирования независимо от типов считывающих устройств и виртуальных измерительных инструментов. Единый процедурный подход в реализации технологии *3D* сканирования включает блок действий по формированию виртуального измерительного инструмента, осуществляемый однократно при настройке оборудования, и блок действий по

проведению измерений, выполняемых многократно для исследования поверхностей объектов. Условная схема расположения оборудования отражена на рисунке 3. Установлено, что на повышения степени автоматизации и точности измерений системы 3D сканирования влияет количество используемых считывающих устройств и их расположение относительно измеряемого объекта.



**Рисунок 3 - Схема расположения оборудования для осуществления технологии 3D сканирования: а - при использовании одного считывающего устройства, б - при использовании  $n$ -го количества считывающих устройств**

Предложен ряд способов формирования эталонной матрицы с помощью пропорционального сочетания трёх заданных цветов в каждой метке (рис.4, а), представления меток как геометрических элементов (рис.4, б) или элементов штрих-кода (рис.4, в). Сформулированы условия для выбора и использования меток матриц.



**Рисунок 4 - Визуальное отображение фрагмента эталонной матрицы: а- сочетание цветов, б- геометрические элементы; в- элементы штрих-кодов**

Выявлено влияние внешнего фона на точность системы технического зрения (рис. 5), что обуславливает необходимость выбора рациональных сочетаний считывающих устройств, материальных матриц и внешнего фона.

Для измерения поверхности фигуры человека введена пространственная система координат SXYZ (рис. 6, а), в которой для определения координат меток на

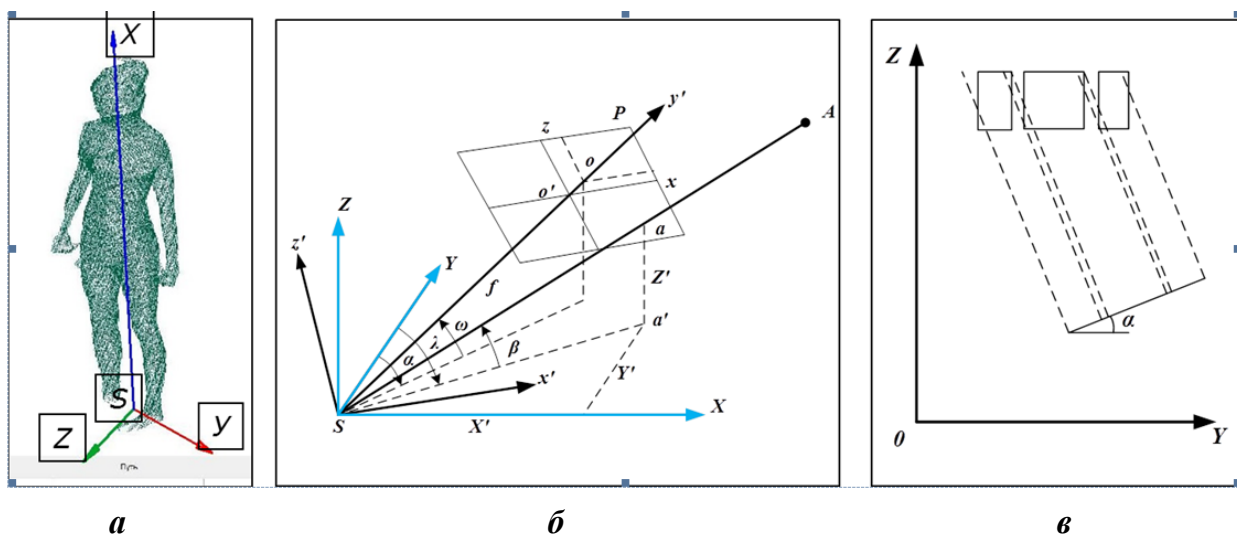
отображении материальной матрицы служит выбрана прямоугольная система координат  $o'x z$  (рис. 6, б).



**Рисунок 5 – Определение рационального сочетания считывающих устройств, материальных матриц и внешнего фона**

Для определения зависимости между координатами соответствующих меток эталонной материальной матриц использованы формулы аналитической геометрии (1), преобразованные для получения точных координат каждой точки проекции с регулярно расположенными метками, эталонные координаты которых известны.

$$\begin{aligned} (X - X_s)(c'_1(x - x_0) + c'_2(y - y_0) + c'_3) &= a_1(x - x_0) + a_2(y - y_0) + a'_3; \\ (Y - Y_s)(c'_1(x - x_0) + c'_2(y - y_0) + c'_3) &= b_1(x - x_0) + b_2(y - y_0) + b'_3. \end{aligned} \quad (1)$$



**Рисунок 6 – Схема определения координат поверхности ( $\theta$ ) с использованием ортогональных (а) и пространственных (б) систем координат**

Суть решаемой математической задачи при построении виртуальной 3D модели измеряемого объекта сводится к нахождению пересечения цилиндра, построенного на проекции изображения объекта на плоскость материальной матрицы, с поверхностью объекта и определению координаты  $z$ . Так как ось зрения перпендикулярна оси  $X$ , то проекции плоскостей с разными координатами по оси  $X$  на прямую, принадлежащую изображению, могут быть построены независимо. На пересечении края объекта и перпендикуляра к проекции изображения, показанного пунктиром на рисунке 5(в), образуется угол  $\alpha$ .



Так как для всего изображения угол  $\alpha$  не изменяется, поэтому его синус и косинус можно вычислить однократно. Тогда формула определения координаты  $z$  примет вид (2):

$$z = \frac{(y_1 - \theta) \cos \beta - (y - \theta)(\cos \alpha \cos \beta - \sin \alpha \sin \beta)}{\sin \alpha \cos \beta - \sin \beta \cos \alpha} + \theta \quad (2)$$

На основе теории аналитической геометрии и мурусометрии можно определить координаты любой точки изображения исследуемого объекта благодаря установлению математической взаимосвязи между эталонной и материальной матрицами, то есть с помощью *ВИИ*. Разработано математическое обеспечение алгоритма определения координат точек поверхности фигуры человека и одежды. Виртуальная *3D* модель измеряемого объекта формируется по координатам точек пересечения цилиндра, построенного на проекции изображения объекта на плоскость материальной матрицы, с объектом. Границы поверхности виртуальной *3D* модели измеряемого объекта ограничены точками, в которых на изображении отсутствует измеряемый объект

Важным преимуществом разработанного метода *3D* сканирования является возможность определять размерные характеристики объекта в автоматическом режиме без визуализации его изображения, в интерактивном режиме с визуализацией изображения и осуществлять экспорт полученных данных в САПР одежды.

. На рисунке 7 бежевым цветом выделены укрупнённые модули *2D* и *3D* проектирования одежды, предполагающие выполнение *3D* сканирования или использование его результатов.

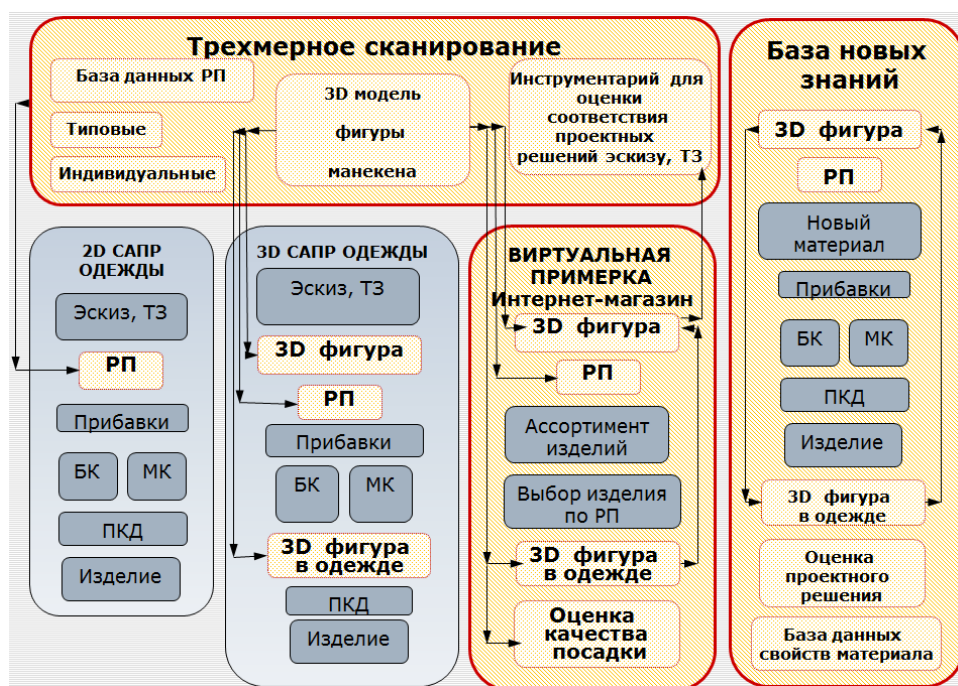
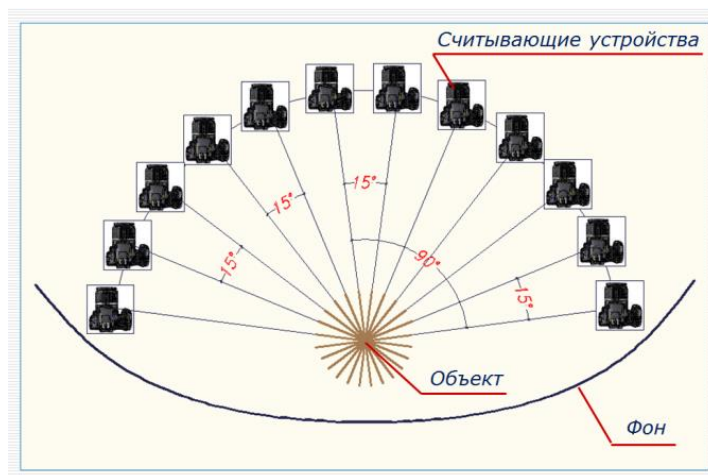


Рисунок 7 - Структурная модель процесса проектирования внешней формы одежды на основе *3D* сканирования

Применение методологии интеллектуального 3D сканирования в швейной промышленности позволяет существенно модифицировать процесс автоматизированного проектирования одежды, так как обеспечивает возможность оцифровки любой поверхности, то есть получения достоверной цифровой информации о внешней форме как фигур потребителей, так и готовых изделий для экспорта данных в САПР или иные компьютерные приложения

В *четвертой* главе диссертационной работы отражена разработка информационного, технического и программного обеспечения материального воплощения технологии 3D сканирования в виде системы. Принципиальная схема размещения оборудования для разработанной *стационарной системы 3D сканирования* представлена на рисунке 8. В состав измерительного комплекса входят 12 фотокамер, расположенных по дуге окружности под углом 15° друг к другу; платформа для размещения объекта измерения; специальный фон, расположенный по дуге окружности за объектом; система синхронизации работы оборудования, управляемая дистанционно; компьютер и монитор.



*а*



*б*

**Рисунок 8 – Стационарная система 3D сканирования:  
*а* - принципиальная схема; *б* – внешний вид**



Для оцифровки типовых и индивидуальных фигур потребителей, отшитых образцов проектируемой одежды на малых и средних предприятиях отрасли разработана *мобильная система 3D сканирования*, более доступная отечественным производителям как по стоимости, так и по компактности занимаемой площади (рис. 9). В состав мобильного комплекса входят одна фотокамера; поворотная платформа; система синхронизации работы оборудования, управляемая дистанционно; компьютер и монитор; измерительная кабина, состоящая из двух разборных секций. При проведении сканирования человек устанавливается на поворотную платформу в соответствии с обозначенным положением ступней. Получение информации происходит с помощью одного считывающего устройства при автоматическом повороте фигуры вокруг собственной оси с шагом в  $10^\circ$ .



*а*



*б*

**Рисунок 9 - Мобильная система 3D сканирования: *а* - внешний вид; *б* - положение измеряемого человека на платформе**

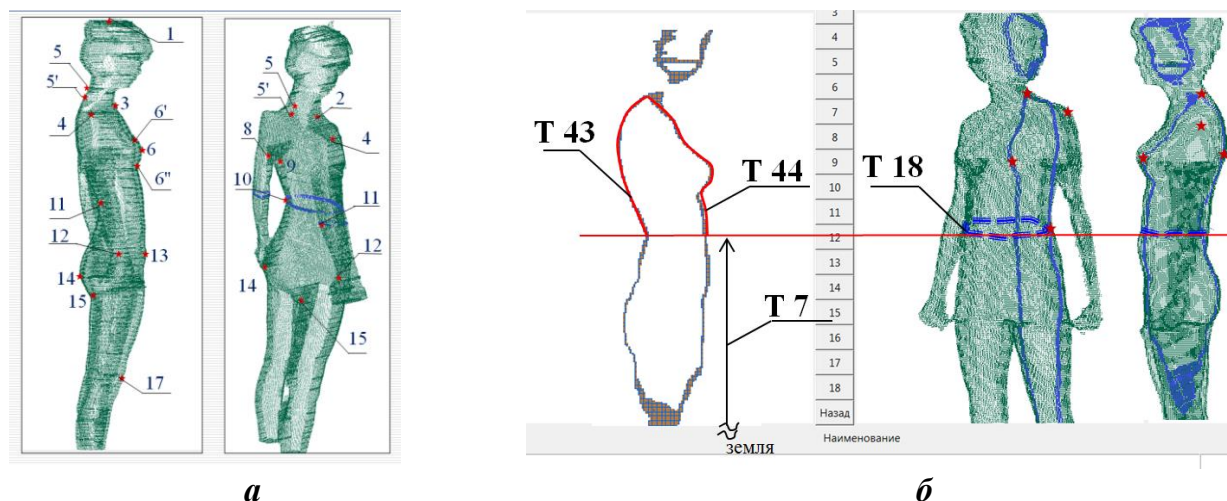
В качестве критериев создания программного обеспечения систем 3D сканирования были выбраны скорость работы расчётной части, кроссплатформенность, модульный подход к коду программы для простоты доработки и поддержки. Определена последовательность диалоговых взаимодействий пользователя с программными средствами системы, предложено многоуровневое пользовательское меню, обеспечивающее удобный режим активизации функций системы для выполнения заданных проектных функций.

Системы 3D сканирования приведены в соответствие с ГОСТ Р ИСО 9001–2011 как средства измерений с присущими метрологическими характеристиками.

Разработанные системы 3D сканирования выполняют следующие функции: получение информации со считывающих устройств или внешнего носителя для генерации виртуальной 3D модели объекта; построение и отображение виртуальной 3D модели объекта; выделение сечений виртуального 3D изображения в любых плоскостях; измерение расстояний на поверхности 3D изображения между любыми точками оцифрованной модели объекта в автоматизированном или интерактивном режимах; хранение результатов измерений или экспорт данных в САПР. Для перевода в цифровой формат информации с плоских бумажных носителей, в том числе архива лекал деталей изделий, технических эскизов или иной проектной документации разработан *дигитайзер*.

Предложена методика проведения 3D сканирования объектов сложной формы, включающая рекомендуемый диапазон измерений объекта, метод, средства и условия измерений, вспомогательные устройства, требования к положению измеряемого объекта, последовательность действий при работе с системой 3D сканирования. Для реализации методики разработана программа измерений виртуальной 3D модели фигуры человека, которая определяет состав информации о размерах и форме поверхности тела человека и предусматривает автоматическое получение проекционных, дуговых и обхватных размерных признаков, угловых значений в трансверсальной, сагиттальной, фронтальной, горизонтальной плоскостях, построение различных абрисов и сечений фигуры.

Использование системы 3D сканирования предоставляет конструктору возможность в интерактивном режиме масштабировать модель, расположить ее в любом требуемом ракурсе для более точного позиционирования антропометрических точек (рис. 10, а), провести измерения выбранных участков виртуальных моделей типовых или индивидуальных фигур (рис. 10, б), чтобы реализовать любую методику конструирования или выполнить специальные требования технического задания..

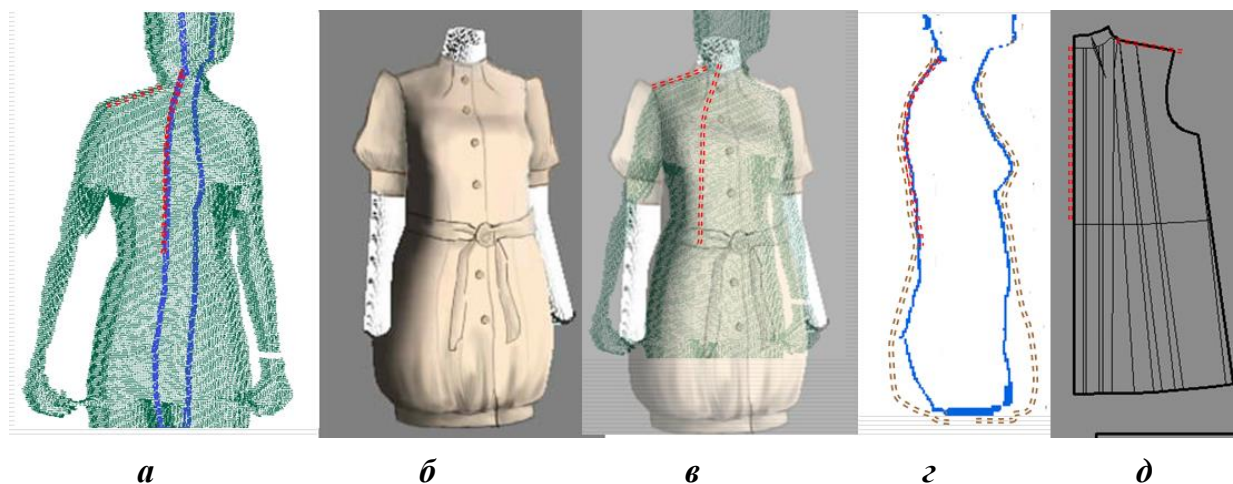


**Рисунок 10 – Пример изучения 3D модели : а- определение антропометрических точек; б- определение некоторых размерных признаков**

**В пятой главе** предложено решение научной проблемы разработки объективного инструментария оценки проектных решений одежды в удаленном режиме и в электронном виде с помощью разработанной открытой универсальной технологии 3D сканирования.

Разработана структурная схема и методика проведения оценки качества проектных решений одежды с помощью 3D сканирования, включая этапы сканирования фигуры индивидуального потребителя или типового манекена, накопления цифровой антропометрической информации в базе данных или выбора виртуального 3D манекена искомой фигуры из базы данных; сканирования образца одежды и формирования его виртуальной 3D модели изделия; выявления конструктивных дефектов и внесения изменений в лекала; сопоставления 3D модели отсканированного образца с 3D моделью эскиза; контроля заданных параметров изделия; автоматизированной оценки качества проектного решения по количественным критериям для последующей корректировки или запуска в производство.

Предложены единые критерии определения антропометрического соответствия готовых изделий и их виртуальных 3D моделей реальной фигуре потребителя, путем сопоставления параметров одежды, лекал, эскиза и фигуры человека между собой (рис. 11).



**Рисунок 11 – Оценка антропометрического соответствия одежды:**

***а* – отсканированная 3D модель фигуры; *б* - 3D модель изделия;**

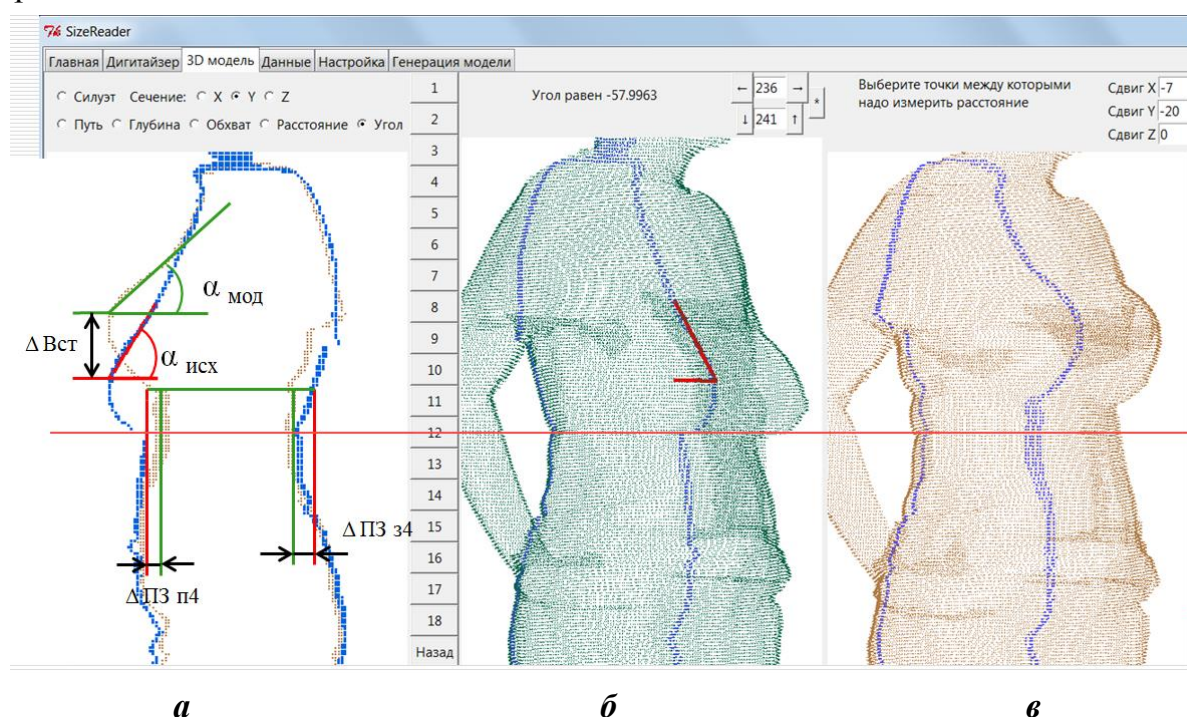
***в* – совмещение 3D моделей; *г* – сопоставление сечений; *д* - лекала**

Разработан метод определения корректного антропометрического расположения конструктивных членений, определяющих силуэт и распределение конструктивных прибавок в одежде, с учетом поведения материалов и перехода от зон опорного давления к зонам касательного давления с помощью 3D сканирования. Предложены количественные критерии для оценки проектируемых образцов корсетных изделий (рис. 12).



Разработан метод оценки проектных решений одежды по соответствию эскизу изделия. Выделены критерии, определяемые техническим заданием и характеристики зрительного подобия, к которым отнесены количественные критерии, не зависящие от масштабирования или пропорционирования.

Разработан способ оценки достоверности виртуального представления 3D моделей фигур человека и внешней формы одежды в САПР путем сравнения облака точек, описывающих реальные объекты, полученных по данным сканирования и виртуальных моделей. Таким образом, разработанные системы 3D сканирования являются объективным инструментом виртуальной оценки качества посадки проектируемых изделий на фигуре человека и способствуют проведению виртуальных примерок на реалистичных виртуальных манекенах фигур потребителей.



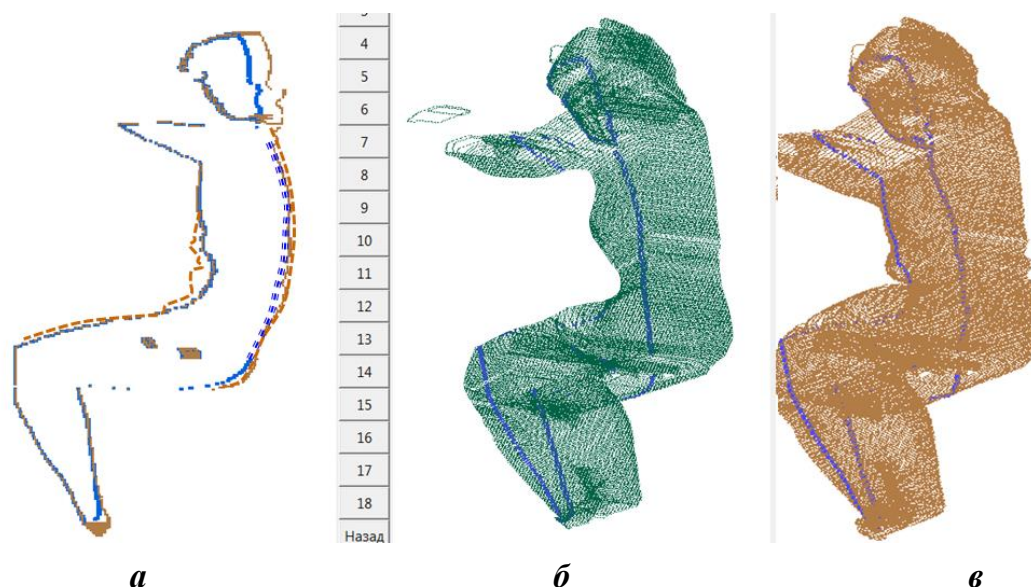
**Рисунок 12 - Оценка внешней формы корсетно-бельевых изделий:**  
**а - контрольные измерения на совмещённых сечениях обнажённой фигуры и фигуры в бюстгальтере; б - 3D модель обнажённой фигуры;**  
**в - 3D модель фигуры в бюстгальтере**

В шестой главе приведены рекомендации по практической реализации метода проектирования внешней формы одежды с помощью трехмерного сканирования, направленные на повышение эффективности производства одежды.

Практическая реализация разработанного метода включала несколько направлений: 1) совершенствование методик конструирования путем введения дополнительных размерных признаков фигуры человека или данных об их динамическом приросте; 2) совершенствование процессов проектирования головных

уборов; 3) совершенствование метода проектирования манекенов фигуры человека, шаблонов внешней и внутренней формы одежды, оборудования влажно-тепловой обработки; 4) проектирование изделий специального назначения; 5) проектирование автоматизированных систем виртуальной примерки.

Введение дополнительных размерных признаков в расчетные формулы методик конструирования способствует повышению точности построения конструктивных срезов деталей одежды. Систематизация данных о динамических изменениях внешней формы человеческих фигур, установленных путем виртуального моделирования движений, характерных для активной деятельности человека (рис. 13), предоставляет возможность обоснованного выбора конструктивных прибавок на свободу движений при проектировании одежды с повышенными эргономическими требованиями.

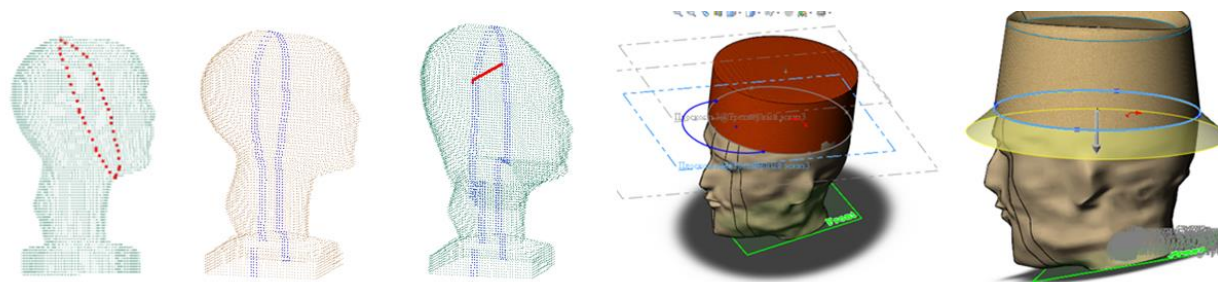


**Рисунок 13 – Изучение внешней формы фигуры в динамике: а – совмещение сагиттальных сечений, б – 3D модель фигуры, в – 3D модель одетой фигуры**

Предложен способ проектирования внешней формы головных уборов в 3D САПР с учетом антропометрических параметров головы и конструктивных проекционных прибавок по линии присада, установленных с помощью 3D сканирования (рис. 14). Технология 3D сканирования обеспечивает получение заданной информации по запросу конструктора: о форме поверхности головы человека, внешней форме головного убора, прибавках на различных участках конструкции или о контурах сечений в любых плоскостях.

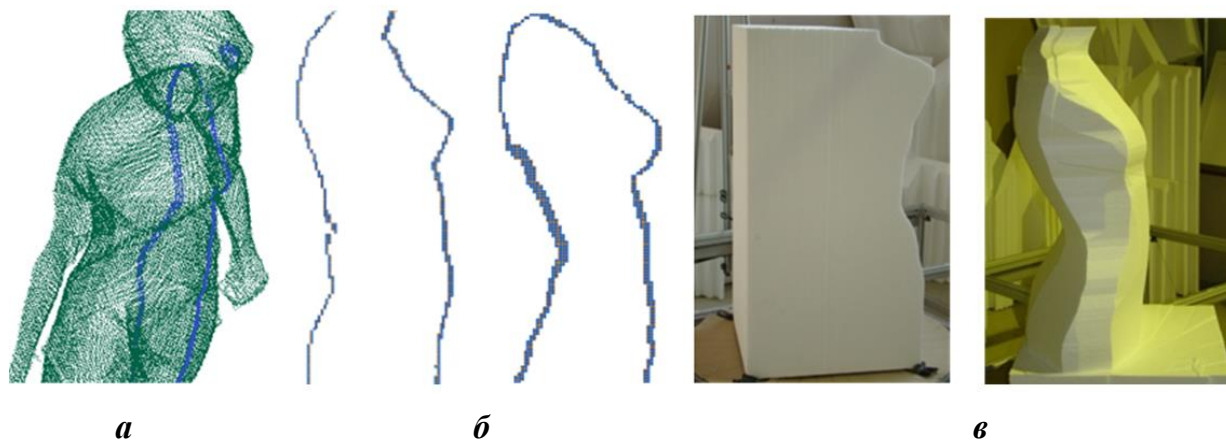
Разработанная технология 3D сканирования позволяет подготовить рекомендации по выбору наиболее подходящих форм и моделей головных уборов для различных типов головы потребителей, а также сформировать базу данных для автоматизированного 3D проектирования головных уборов с высокой степенью соответствия форме головы человека, что положительно влияет на увеличение

сменяемости новых изделий, оперативное реагирование на запросы потребителей и повышение конкурентоспособности продукции.



**Рисунок 14 - Проектирование внешней формы головного убора в 3D САПР с учетом антропометрических параметров головы**

Разработана и апробирована последовательность проектирования шаблонов фигуры человека, внешней и внутренней формы одежды, манекенов (рис. 15) и пресс-форм для оборудования ВТО на основе 3D сканирования, виртуального отображения и описания поверхности исходного объекта для автоматизированного создания внешней формы проектируемого изделия.



**Рисунок 15 - Проектирование индивидуального манекена: а – 3D модель; б – набор абрисов фигуры; в – изготовление на станке СРП-3000**

Применение систем 3D сканирования способствует корректности создания как виртуальных, так и материальных манекенов одежды и позволяет разрабатывать модели типовых и нетиповых фигур в реальной и виртуальной среде.

Разработан подход к проектированию изделий специального назначения для людей с ограниченными возможностями. 3D физическая модель специального изделия (например, вкладыша в корсет) может быть изготовлена с применением оборудования 3D печати (рис. 16) из полимерных материалов по виртуальной 3D модели, полученной с помощью технологии сканирования, путём наращивания к первичной форме слоёв различного цвета определённой толщины

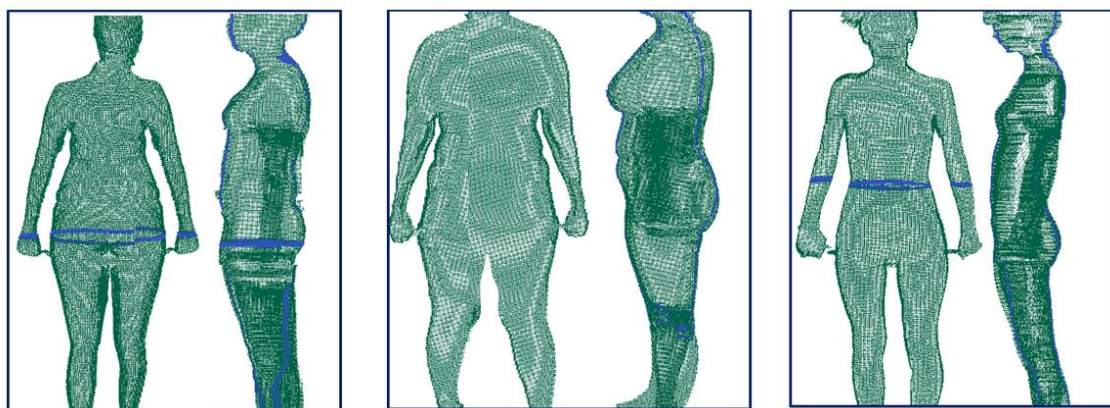




**Рисунок 16 - Проектирование вкладки в корсет для исправления осанки**

Предложенный подход позволит повысить качество посадки и усилить корректирующий эффект швейных изделий для людей с ограниченными возможностями (корсетов, специального белья, бандажей, протезов конечностей, ортопедических изделий) благодаря персонализации изготовления изделий в соответствии с индивидуальной формой поверхности тела каждого потребителя.

Предлагаемая методология проектирования внешней формы изделий с помощью 3D сканирования успешно внедрена на предприятиях выпускающих корпоративную, фирменную и специальную одежду в рамках рассмотренной автором индустриальной парадигмы «массовой кастомизации». Для обеспечения высокого качества посадки корпоративной одежды на разнообразных фигурах нетипового телосложения необходимо достоверно определить размерные характеристики, особенности телосложения и топологии поверхности индивидуальных фигур, имеющих значительные отличия (рис.17).



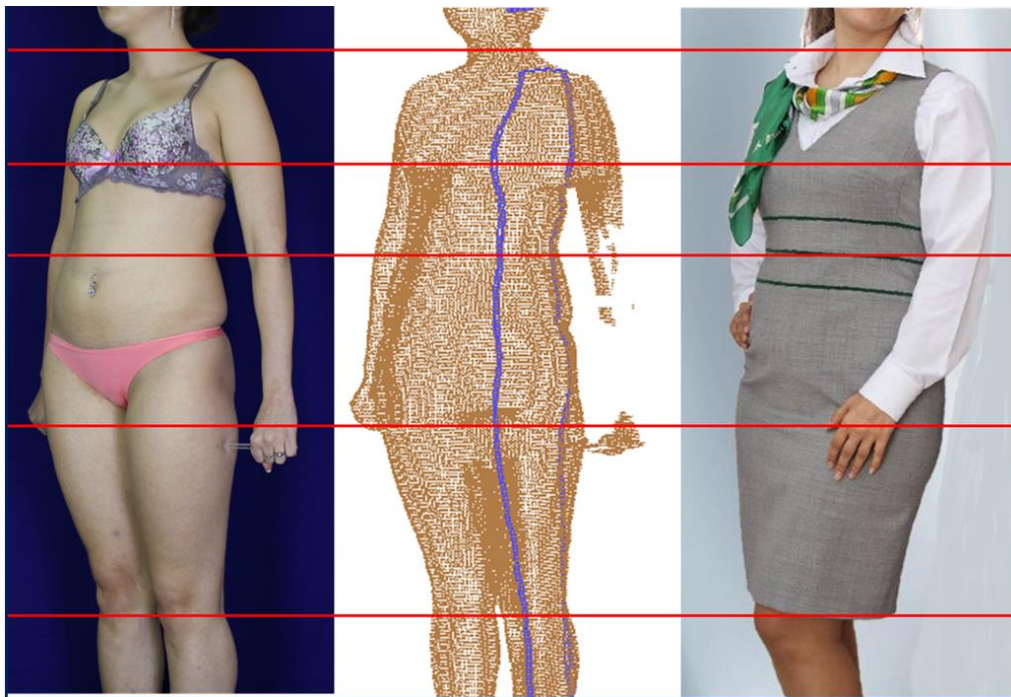
**Рисунок 17 – Визуализация различных типов фигур потребителей**

В практическую деятельность крупных швейных предприятия ООО «Этника» (г. Москва), и ООО «Униформа» (г. Демидов, Смоленская обл.) специализирующихся на изготовлении фирменной одежды, была внедрена разработанная система 3D сканирования, позволившая улучшить качество посадки изделий, изготовленных в условиях промышленного производства для индивидуальных фигур сотрудников ряда российских корпораций (рис. 18).



*а*

*б*



*в*

*г*

*д*

**Рисунок 18 – Внедрение 3D сканирования в производство: *а* - система 3D сканирования; *б* - изготовление ПКД; *в* – фото индивидуальной фигуры потребителя; *г* - 3D модель индивидуальной фигуры; *д* - изделие**

Благодаря мобильности система 3D сканирования может размещаться как у производителя, так и перемещаться в офис корпорации-заказчика для оперативного антропометрического обследования сотрудников. До внедрения разработанной системы 3D сканирования при проектировании корпоративной одежды для индивидуальных фигур использовался метод примерок готовых образцов из базы отшитых изделий различных типовых размероростов на фигуру конкретного сотрудника для выбора наиболее подходящего изделия и при необходимости внесения изменений в конструкцию изделия и отшива единичных изделий на нетиповую фигуру. Изготовление большого количества комплектов фирменной одежды, предназначенной для сотрудников крупных корпораций и проектируемой с учетом индивидуального телосложения, в условиях массового производства



позволяет снизить логистические и материальные издержки предприятия и повысить удовлетворенность потребителей производимой одеждой.

Использование 3D моделей фигур конкретных потребителей, оцифрованных с помощью 3D сканирования, позволяет визуализировать виртуальные 3D модели проектируемых изделий на заданных фигурах, чтобы дистанционно через интернет оценить внешнюю форму разработанных образцов и согласовать с заказчиком в режиме удаленного доступа план выпуска изделий.

В производственных условиях реализован предложенный метод подбора потенциальными покупателями соразмерной одежды из промышленной коллекции, в основе которого лежит автоматизированная оценка антропометрического соответствия 3D модели индивидуальной фигуры потребителя конструктивным параметрам образцов одежды. Установлено, что маркировка трикотажных изделий, которые приобретают женщины, ориентируясь на собственное представление о своей фигуре, неизменно отличается от фактических размерных признаков их фигуры. Применение метода подбора соразмерной одежды привело к росту объема онлайн-продаж трикотажной одежды с 20% до 80% от количества доставляемых для очной примерки образцов моделей, выбранных из промышленной коллекции на сайте предприятия. Внедрение систем 3D сканирования для виртуальной примерки и подбора соразмерной одежды способствует повышению удовлетворенности потребителей продукцией конкретного производителя, влияет на рост продаж выпускаемой продукции и соответственно на эффективность швейного производства.

#### ***Основные результаты и выводы***

1. Разработана концепция проектирования внешней формы одежды, подразумевающая возможность выбора и интеграции производителем различных модулей САПР одежды и традиционных способов проектирования в единую информационную цифровую среду благодаря сквозному или локальному применению технологии 3D сканирования для поэтапного контроля за параметрами проектных решений, что способствует ускорению выхода на рынок новой продукции и повышению конкурентоспособности швейных предприятий.
2. Разработаны теоретические основы технологии трехмерного сканирования, обеспечивающие получение, обработку, анализ и интеграцию информации о поверхности многомерных объектов сложной формы для создания их цифровых виртуальных моделей и определения любых заданных параметров поверхности на основе принципов универсальности и открытости, предполагающих возможность адаптации измерительных комплексов к широкому спектру оборудования и модификации системы под запросы заказчика.

3. Разработаны методологические основы трехмерного сканирования для бесконтактного исследования формы, размеров и топологии поверхности пространственных объектов, предполагающие использование виртуального измерительного инструмента, определяющего математические зависимости между координатами эталонного и измеряемого объектов, основанного на оптических и лазерных считывающих устройствах для преобразования информации о цветовом содержании, геометрической форме или размерах используемых меток эталона в координаты точек поверхности.
4. Разработан математический аппарат преобразования информации о поверхности измеряемого объекта, полученной считывающими устройствами, в координаты точек поверхности фигуры человека и одежды, одетой на фигуру, а затем в виртуальную *3D* модель внешней формы объекта, положенный в основу алгоритма программного обеспечения технологии трехмерного сканирования.
5. Разработаны системы трехмерного сканирования, классифицируемые по способу действия как цифровой, регистрирующий, суммирующий компаратор, имеющий нормированные метрологические свойства и являющийся средством измерений с классом точности, равном 0,05, в четыре раза превышающем требования, предъявляемые к средствам контактных измерений, погрешностью значительно менее 0,1 см, допустимой нормативами швейной промышленности, скоростью получения информации о поверхности до 30 сек. и обработки данных для генерации *3D* модели до 10 мин.
6. Разработаны и внедрены на предприятиях швейной промышленности и в научных центрах образцы стационарной и мобильной систем *3D* сканирования, различающихся между собой по занимаемой площади, степени точности измерений и стоимости комплекса. Наибольшая потребность в отечественных системах *3D* сканирования отмечена на предприятиях, выпускающих корпоративную, фирменную или специальную одежду, отличающуюся повышенными функциональными или эргономическими требованиями, и в инновационных швейных компаниях, заинтересованных в промышленном применении *3D* САПР одежды или в организации интерактивных онлайн-продаж промышленной коллекции с сайта компании-производителя с помощью сравнения параметров готовой продукции и виртуальных манекенов типовых и нетиповых фигур.
7. Практическое воплощение технологии трехмерного сканирования в бесконтактном измерительном комплексе обеспечивает реализацию следующих функций: распознавание формы и размеров плоских и пространственных объектов, позволяющее перевести в цифровой формат лекала швейных изделий, типовые манекены и фигуры потребителей, внутреннюю и внешнюю форму одежды;

определение любых параметров внешней формы объекта как между двумя любыми точками, так и по поверхности, что обеспечивает определение любых размерных признаков фигуры человека; построение любых сечений поверхности измеряемого объекта и виртуальной 3D модели, что обеспечивает возможность сопоставления соответствия различных поверхностей друг другу и определения проекционных зазоров в любом месте; сопоставление виртуальных 3D моделей, в том числе тела человека, внешней формы одежды на заданной фигуре и др.

8. Разработана методология объективной оценки качества проектных решений одежды с помощью 3D сканирования путем проведения обоснованного сопоставления различных количественных критериев как для сравнения с эталоном, так и с выбранными параметрами виртуальных 2D и 3D моделей проектируемых изделий.

9. Внедрение разработанной методологии проектирования внешней формы одежды на основе модульного подхода к процессу, применения 3D сканирования и поэтапного контроля за качеством виртуальных проектных решений позволило улучшить качество посадки изделий на фигурах потребителей, организовать объективный контроль за качеством удаленного проектирования и изготовления швейных изделий, интенсифицировать онлайн-продажи выпускаемой продукции, что способствует ускорению обновления промышленной коллекции, повышению удовлетворенности населения отечественной одеждой, росту продаж и эффективности швейного производства.

#### ***Публикации по теме диссертации:***

##### *Публикации в журналах, определенных ВАК Минобрнауки России:*

1. Петросова И.А. Новые инструменты для бесконтактного определения размерных признаков [Текст] / И.А. Петросова, А.И. Мартынова // Швейная промышленность. – 2006, № 5. – С. 42-44. – (0,4 п. л./0,2 п. л.)
2. Петросова И.А. Мурусометрический метод бесконтактного определения размерных характеристик объекта [Текст] / И.А. Петросова, А.И. Мартынова// Дизайн и технологии. – 2008, №9 (51). – С.52-56. (0,5 п. л./ 0,25 п. л.)
3. Петросова И.А. Структурный анализ наиболее характерных элементов женского национального костюма Таджикистана конца XIX – начала XX века [Текст] / Д.А. Сангинова, Е.Г. Андреева, И.А. Петросова // Дизайн и технологии. – 2010, №16(58). – С. 28-31. (0,35 п. л./ 0,12 п. л.)
4. Петросова И.А. Фиброоптика в изделиях легкой промышленности [Текст] / И.А. Петросова, В.В. Костылева, Х. Шмидт–Вернебург //Дизайн и технологии. – 2011, № 21. – С. 17–21. (0,4 п. л./ 0,15 п. л.)

5. Петросова И.А. Разработка системы штрих-кодовой классификации женской национальной одежды Таджикистана [Текст] / Д.А. Сангинова, Е.Г. Андреева, И.А. Петросова // Швейная промышленность. – 2011, № 3. – С. 38–39. (0,3 п. л./ 0,1 п. л.)
6. Петросова И.А. Антропоморфологические особенности внешней формы женских фигур населения Таджикистана [Текст] / Д.А. Сангинова, Е.Г. Андреева, И.А. Петросова // Швейная промышленность. – 2011, № 4. – С. 28-29. (0,3 п. л./0,1 п. л.)
7. Петросова И.А. Антропоморфологические особенности внешней формы женских фигур населения Таджикистана [Текст] / Д.А. Сангинова, Е.Г. Андреева, И.А. Петросова // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. – 2011, Т.13, № 3. – С. 85-87. (0,3 п. л./ 0,1 п. л.)
8. Петросова И.А. Особенности проектирования одежды для парапланеристов с учётом изменения размерных признаков в динамике [Текст]/ И.А. Петросова, Л.В. Лопасова, Е.Г. Андреева // Дизайн и технологии. – 2012, № 29(71). – С. 49–54. (0,7 п. л./ 0,25 п. л.)
9. Петросова И.А. Анализ методов измерений фигуры человека и систем трехмерного сканирования в легкой промышленности [Текст] / И.А. Петросова, Е.Г. Андреева // Дизайн и технологии. – 2012, №30 (72). – С. 59–64. (0,7 п. л./ 0,35 п. л.)
10. Петросова И.А. Проектирование внешней формы мужской одежды на основе трехмерного сканирования [Текст] / Е.Г. Андреева, И.А. Петросова, М.С. Бояров // Швейная промышленность. 2013, № 2. – С. 33–36. (0,55 п. л./ 0,2 п. л.)
11. Петросова И.А. Подготовка исходной информации и проектирование головных уборов в трёхмерных САПР [Текст] / И.А. Петросова, М.А. Гусева, Л.В. Лопасова // Дизайн и технологии. – 2013, №36 (78). – С. 42–47. (0,6 п. л./ 0,2 п. л.)
12. Петросова И.А. Разработка параметров для трехмерного проектирования внешней формы и конструкций втачных рукавов с нерегулярной поверхностью в области оката [Текст] / В.В. Гетманцева, И.В. Булычева, И.А. Петросова, А.М. Фетисова // Дизайн и технологии. – 2013, №37 (79) – С.38–45. (0,6 п. л./ 0,15 п. л.)
13. Петросова И.А. Развитие способов проектирования одежды на основе трехмерного сканирования [Текст] / Ду Цзинь Сун, И.А. Петросова, Е.Г. Андреева// Дизайн и технологии.- 2013, №38(80).- С. 51- 58. (0,8 п. л./ 0,3 п. л.)
14. Петросова И.А. Объективные способы оценки внешней формы и качества посадки корсетно–бельевых изделий с помощью трехмерного сканирования [Текст] / И.А. Петросова, Е.Г. Андреева, А.В. Шпачкова // Швейная промышленность. – 2013, № 6. – С. 30–36. (1,1 п. л./ 0,35 п. л.)

Публикации в других научных журналах и изданиях:

15. Петросова И.А. Перспективы развития методов определения антропометрических характеристик тела человека [Текст]/ И.А. Петросова, А.И. Мартынова // Техника и технология. –2006, № 6. – С.13-18. – (0,3 п. л./0,15 п. л.)
16. Петросова И.А. Обзор возможностей современных методов исследования формы поверхности фигуры человека [Текст] / И.А. Петросова, Е.Г. Андреева // Техника и технология. – 2009, № 3. – С.32-36. (0,3 п. л./ 0,15 п. л.)
17. Петросова И.А. Применение способа получения трехмерного объекта сложной формы для изготовления изделий специального назначения [Тезисы] / Е.В. Иванова, И.А. Петросова// IV Московский фестиваль науки. Тезисы докладов Всероссийской научно–практической студенческой конференции «Молодая наука». – М.: ИИЦ МГУДТ, 2009. – С.8-9. (0,1 п. л./0,05 п. л.)
18. Петросова И.А. Практикум по размерной антропологии и биомеханике [Текст] / А.Ю. Рогожин, Р.В. Иевлева, Е.Ю. Кривобородова, М.А. Гусева, И.А. Петросова// М.: ИИЦ МГУДТ, 2010.– 159 с. ( 10 п. л./ 2 п. л.)
19. Петросова И.А. Инновационные подходы и пути совершенствования процессов проектирования швейных изделий [Тезисы] / Е.Г. Андреева, В.В. Гетманцева, Е.В. Лаврис, И.А. Петросова //Актуальные проблемы науки в развитии инновационных технологий для экономики региона (ЛЕН–2010): сборник тезисов докладов международной научно–технической конференции.– Кострома.: ИИЦ КГТУ. – 2010. – С.46-48. (0,05 п. л./ 0,02 п. л.)
20. Применение оптоволоконных материалов в изделиях легкой промышленности [Текст] / И.А. Петросова, В.В. Костылева, Х. Шмидт–Вернебург // Сборник научных трудов к 110–летию Ю.П. Зыбина, 80–летию кафедры ХМКТИК.– М.: ИИЦ МГУДТ. – 2010. – С.15–20. (0,4 п. л./ 0,15 п. л.)
21. *Petrosova I.A. Contactless method for object measuring* [Text], англ. (Бесконтактный метод для измерений объекта) / *I.A. Petrosova, E.G. Andreeva* // Сборник материалов научного семинара стипендиатов российско–германских программ "Михаил Ломоносов" и "Иммануил Кант" 2010-11 гг., Москва, 28-29 апреля 2011.– М.: ДААД. – С.142-145. (0,3 п.л / 0,15 п. л.)
22. Петросова И.А. Результаты и перспективы разработки ООП по профилю «Конструирование швейных изделий» направления «Конструирование изделий легкой промышленности» [Тезисы] // Сб. тезисов докладов XII Всероссийской научно–практической конференции с международным участием «Развитие уровневой системы профессионального образования» М: ИИЦ МГУДТ. – 2011.- С.71–72. (0,1 п. л./ 0,1 п. л.)

23. Петросова И.А. Проектирование трехмерной модели фигуры для формования войлочных деталей одежды [Текст] / Л.С. Бектемирова, И.А.Петросова, Г.П. Зарецкая // Научный обозреватель. – 2013, №10 (34). – С.72–76. (0,45 п. л./ 0,15 п. л.)
24. Петросова И.А. Разработка бесконтактного метода определения координат точек поверхности фигуры [Текст] // Научная перспектива. – 2013, №5 (39). – С.114–117. (0,25 п. л./ 0,25 п.л.)
25. Петросова И.А. Проектирование манекенов для одежды на основе данных трехмерного сканирования фигуры [Текст] / И.А. Петросова, А.А. Тутова, Е.Г. Андреева// Научный обозреватель.- 2013, №12 (36).- С.83-88. (0,56 п. л./0,2 п. л.)
26. Петросова И.А. Разработка теоретических основ бесконтактного муросометрического метода изучения объектов сложной формы: Отчет о НИР Минобразования РФ [Рукопись] / И.А. Петросова, М.А. Гусева, Е.М. Базаев// ЕФБД НИОКР зарегистр. 01.03.2010; рег. № 01200850094; инв. № 02201052310.–2010.–73 с. (4,5 п. л./3,2 п. л.)
27. Петросова И.А. Бесконтактные методы изучения объектов сложной формы и способы получения трехмерной модели: Отчет о НИР Минобразования РФ [Рукопись] / И.А. Петросова// ЕФБД НИОКР зарегистр. 22.03.2011; рег. № 01201052163; инв. № 02201154084. –2010.- 46 с. (2,9 п. л./ 2,9 п. л.)
28. Петросова И.А. Разработка бесконтактного измерительного комплекса для производства продукции легкой промышленности: Отчет о НИОКР по Госконтракту Минпромторга РФ № 10411.0816900.19.046 от 13.04.2010 [Рукопись] / И.А. Петросова, Е.Г. Андреева, В.А. Андреев // ЕФБД НИОКР зарегистр. 31.05.2011; рег. № 01201061896, инв. № 02201157645.- 2010.- 190 с. (11,8 п.л./ 7 п.л.)
29. Петросова И.А. Разработка систем автоматизированного проектирования конкурентоспособных текстильных изделий: Отчет о НИОКР по Госконтракту Минпромторга РФ № 11411.0816900.19.050 от 13.04.2011 [Рукопись] / Е.Г. Андреева, И.А. Петросова, В.В. Гетманцева, М.С. Бояров // ЕФБД НИОКР зарегистр. 11.09.2012; рег. №01201163900, инв. № 02201261305. – 2011. – 205 с. (12,8 п. л./ 5,0 п. л.)
30. Петросова И.А. Разработка современных требований к квалификации работников инновационных предприятий лёгкой и текстильной промышленности: Отчет о НИОКР по Госконтракту Минпромторга РФ № 11411.0816900.19.112 от 20.09.2011 [Рукопись] / Е.Г. Андреева, И.А. Петросова, С.И. Стаханова, Е.В. Лунина и др.// ЕФБД НИОКР зарегистр. 19.03.2012; рег. №01201177880; инв. №02201255335.- 2011.- 173 с. (10,8 п. л./ 1 п. л.)
31. Петросова И.А. Разработка автоматизированной системы параметрического моделирования одежды сложных форм: Отчет о НИОКР по Госконтракту Минпромторга РФ №12411.0816900.19.076 от 03.04.2012 [Рукопись] /Е.Г. Андреева,

И.А. Петросова, В.В. Гетманцева, М.С. Бояров// ЕФБД НИОКР зарегистр. 09.11.2012; рег.№ 01201270764, инв. № 02201262648.- 2012.- 195 с. (12,2 п. л./4 п. л.)

Зарубежные статьи

32. Petrosova I. A. Innovations in design for development of apparel industry [Thesis]/ E.G. Andreeva, V.V. Getmanceva, E.V. Lavris, I.A. Petrosova// II International conference development trends in textile industry design. Belgrade, Serbia, 04–05 June 2010. – Belgrade, DTM. – P.34–35. (0,2 п. л./ 0,05 п. л.)

33. Petrosova I. Verwendung von Lichtwellenleiterfasern in der Bekleidung und in Schuhen [Text] / Petrosova I., Schmidt–Verneburg H. // Fachhochschule Rundschau Kaiserslautern. – 2011, №2 – P.21–22. (0,2 п. л./ 0,1 п. л.)

34. Петросова И.А. Анализ изменчивости длины тела женского населения РТ [Текст] / Д.А. Сангинова, Е.Г. Андреева, И.А. Петросова // Перспективы применения инновационных технологий и усовершенствования технического образования в высших учебных заведениях стран СНГ. Материалы V Международной научно–практической конференции. Душанбе: ПИТТУ.– 2011.– С.438-442. (0,3 п. л./ 0,1 п. л.)

35. Petrosova I. A. Development of a technique of building design clothing for the sport of ballroom dancing, taking into account the dynamic effects [Thesis] / I.A. Petrosova, E.G. Andreeva, K.V. Ovchinnikova //Korea–China International Conference «Fashion Connecting». Zhejiang Sci–Tech University. – Hangzhou: STU– 2012.– P. 68–69. (0,1 п. л./0,05 п. л.)

36. Petrosova I. A. Design of women's clothing with the help of a three–dimensional scan system [Thesis] / I.A. Petrosova, E.G. Andreeva, O.V. Shanceva // Korea–China International Conference «Fashion Connecting». Zhejiang Sci–Tech University– Hangzhou: STU– 2012.– P.70–71. (0,1 п. л./ 0,05 п. л.)

37. Петросова И.А. Применение систем трехмерного сканирования в легкой промышленности [Тезисы] / Д.А. Сангинова, Е.Г. Андреева, И.А. Петросова // Проблемы и пути развития легкой промышленности Таджикистана. Материалы научно–практической конференции Республика Таджикистан. Худжанд, 30.03.2013. – Худжанд: ПИТТУ.– 2013.– С. 72–80. (0,45 п. л./ 0,15 п. л.)

38. Петросова И.А. Разработка инновационной одежды с применением оптических технологий [Тезисы] / И.А. Петросова // Проблемы и пути развития легкой промышленности Таджикистана. Материалы научно–практической конференции Республика Таджикистан. Худжанд, 30.03.2013. – Худжанд: ПИТТУ.– 2013.– С. 60–65. (0,25 п. л./ 0,25 п. л.)

39. Петросова И.А. Разработка системы технического зрения для легкой промышленности [Тезисы] / И.А. ПетросоваЕ.Г. Андреева// Материали за 9–а международна научна практична конференция, «Настоящи изследвания и развитие –

2013», 17–25 января. – София: Бял ГРАД–БГ.– 2013, Том 30.– С.10–14. (0,3 п. л./ 0,15 п. л.)

40. Петросова И.А. Проектирование одежды для спортивных бальных танцев с учетом динамических изменений размерных признаков [Тезисы]/ И.А. Петросова // Материали за 9–а международна научна практична конференция «Бъдещите изследвания – 2013», 17–25 февралю. – София: Бял ГРАД–БГ. – 2013, Том 30.– С.56–59. (0,3 п. л./0,3 п. л.)

41. Petrosova I. A. Trends of design technologies for innovative textile goods production [Электронный ресурс] / V.V. Getmanceva, E.V Lavris, I.A. Petrosova // Fiber2fashion: World internet journal of textile and apparel production – 2011.

Патенты, свидетельства

42. Петросова И.А. Патент на изобретение RU № 2251382. Устройство для бесконтактного снятия проекционных размеров объекта [Текст] / И.А. Петросова, Е.Б. Коблякова // патентообладатель – МГУДТ; заявл. 31.03.2004; опубл. 10.05.2005, Бюл. № 13. – 5 с.

43. Петросова И.А. Патент на изобретение RU № 2303238 Курвиметр с оптическим целеуказателем [Текст] /И.А. Петросова, А.И. Мартынова // патентообладатель – МГУДТ; заявл. 15.03.2006; опубл. 20.07.2007, Бюл. № 20. – 5 с.

44. Петросова И.А. Патент на изобретение RU № 2311615 Способ бесконтактного определения проекционных размеров объекта и получения его трехмерной модели [Текст] / И.А. Петросова, Е.Б. Коблякова // патентообладатель – МГУДТ; заявл. 13.07.2005; опубл. 27.11.2007, Бюл. № 33. – 10 с.

45. Петросова И.А. Патент на изобретение RU № 2388606 Способ получения трехмерного объекта сложной формы [Текст] / И.А. Петросова, Е.Г. Андреева, А.И. Мартынова // патентообладатель – МГУДТ; заявл. 06.10.2008; опубл. 10.05.2010, Бюл. № 13. – 7 с.

46. Петросова И.А. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2010616185 РФ. Бесконтактный измерительный комплекс [электронный ресурс]/ И.А. Петросова, Е.Г. Андреева, Р.С. Ключков // патентообладатель – Минпромторг РФ; заявл. 08.10.2010; зарег. 20.10.2010.

47. Петросова И.А. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2013611419 РФ. Система виртуального моделирования женской одежды [электронный ресурс] /В.В. Гетманцева, М.С. Бояров, И.А. Петросова, Е.Г. Андреева // патентообладатель Минпромторг РФ; заявл. 26.09.2012; зарег. 09.01.2013.