

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ДИЗАЙНА
И ТЕХНОЛОГИИ

На правах рукописи

Петросова Ирина Александровна

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

Специальность 05.19.04 – Технология швейных изделий

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени
доктора технических наук

Научный консультант
доктор технических наук,
проф. Андреева Е.Г.

Москва - 2014

ОГЛАВЛЕНИЕ

	ВВЕДЕНИЕ.....	4
1.	СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОЦЕССА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОДЕЖДЫ АНТРОПОМЕТРИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИЕЙ.....	22
1.1.	Существующие подходы к антропометрическим исследованиям и формированию информации для проектирования одежды.....	23
1.2.	Систематизация способов получения информации о пространственной форме фигуры человека.....	40
1.3.	Трехмерное сканирование и виртуальное представление фигуры человека в швейной промышленности.....	59
	Выводы по первой главе.....	88
2.	СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ ТРЕХМЕРНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ОЦЕНКИ ВНЕШНЕЙ ФОРМЫ ОДЕЖДЫ.....	93
2.1.	Способы представления и проектирования одежды в трехмерной виртуальной среде	94
2.2.	Особенности трехмерного моделирования внешней формы одежды с учетом симуляции поведения материалов.....	112
2.3.	Анализ методов оценки достоверности представления и качества посадки внешней формы одежды в современных САПР	130
2.4.	Новый подход к процессу проектирования внешней формы одежды на основе информационных технологий и инноваций.....	159
	Выводы по второй главе.....	164
3.	РАЗРАБОТКА ТЕОРЕТИЧЕСКИХ И МЕТОДОЛОГИЧЕСКИХ ОСНОВ БЕСКОНТАКТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ ТЕЛА ЧЕЛОВЕКА И ВНЕШНЕЙ ФОРМЫ ОДЕЖДЫ.....	168
3.1	Теоретические основы технологии трехмерного сканирования в легкой промышленности.....	169
3.2.	Сущность предлагаемой технологии трехмерного сканирования.....	174
3.3	Разработка методов формирования виртуальных измерительных инструментов.....	179
3.4.	Разработка математического обеспечения алгоритма определения координат точек поверхности фигуры человека и одежды.....	199
	Выводы по третьей главе.....	213
4.	РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКОГО, ПРОГРАММНОГО И ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМЫ ТРЕХМЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ.....	218
4.1.	Разработка технического обеспечения технологии трехмерного сканирования.....	219

4.2.	Разработка программного обеспечения технологии трехмерного сканирования в швейной промышленности	229
4.3.	Разработка программы измерений размерных признаков по виртуальной трехмерной модели фигуры человека.....	251
4.4.	Оценка точности измерений и проведение массовых антропометрических обследований населения с помощью системы 3D сканирования.....	263
	Выводы по четвертой главе.....	275
5.	МЕТОДОЛОГИЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ ОДЕЖДЫ С ПОМОЩЬЮ ТРЕХМЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ	279
5.1.	Оценка антропометрического соответствия одежды параметрам фигуры	280
5.2.	Разработка метода определения корректного расположения конструктивных членений с учетом поведения материалов в одежде.....	287
5.3.	Разработка метода объективной оценки внешней формы и качества посадки корсетно-бельевых изделий с помощью 3D сканирования.....	292
5.4.	Разработка метода оценки проектных решений одежды по соответствию техническому эскизу и техническому заданию.....	302
5.5.	Оценка достоверности представления трехмерных моделей фигур и проектируемых изделий в САПР одежды.....	314
5.6.	Разработка методики оценки проектных решений одежды с помощью 3D сканирования.....	322
	Выводы по пятой главе.....	325
6.	ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВНЕШНЕЙ ФОРМЫ ОДЕЖДЫ С ПОМОЩЬЮ ТРЕХМЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ.....	329
6.1.	Совершенствование методик конструирования с применением данных 3D сканирования	330
6.2.	Проектирование одежды на основе обоснованной информации о динамических изменениях размерных признаков	337
6.3.	Особенности проектирования головных уборов с помощью данных 3D сканирования	348
6.4.	Совершенствование метода проектирования манекенов фигуры человека, шаблонов внешней и внутренней формы одежды, оборудования ВТО.....	354
6.5.	Перспективы развития систем трехмерного сканирования.....	362
	Выводы по шестой главе.....	369
	Выводы по работе.....	374
	БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	378
	ПРИЛОЖЕНИЯ.....	413

ВВЕДЕНИЕ

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 (*Xu B., et al., 2003*), Техасском университете A&M (*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*), южно-корейских (*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. Бескоровайная (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 (*Mprampra 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 (*A. 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), южно-корейских (*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 предопределили 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 пунктами 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 «Настоящи исследования и развитие-2013» (январь, 2013, София); 10 международна научна практична конференция «Бъдещите 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-2013* (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 мурусометрического метода изучения объектов сложной формы» (Минобразования РФ, 2010); «Бесконтактные методы изучения объектов сложной формы и способы получения трехмерной модели» (Целевая программа «Развитие научного потенциала высшей школы», Минобразования 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» ФГОБУВПО «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 наименований, 11 приложений, содержит 30 таблиц и 193 рисунка. Объем работы составляет 412 страниц текста без учета приложений.

Глава 1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОЦЕССА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОДЕЖДЫ АНТРОПОМЕТРИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИЕЙ

Поставленные руководством страны задачи по техническому перевооружению, освоению системных информационных технологий и производству конкурентоспособной наукоемкой продукции мирового уровня в легкой промышленности обуславливают необходимость создания инновационных систем достоверного виртуального представления внешней формы одежды и фигур потребителей, позволяющих внедрить автоматизированное трехмерное проектирование одежды в реальную практику швейных предприятий, ускорить сменяемость новых моделей и повысить конкурентоспособность отечественных продукции в глобальном масштабе [2].

На современном этапе развития швейной промышленности проектно-конструкторская документация даже на малых предприятиях разрабатывается преимущественно в системах автоматизированного проектирования (САПР), что обеспечивает возможность удаленного промышленного изготовления одежды. Существующий уровень научных разработок требует от производителей не только способности использовать высокотехнологичное информационное обеспечение процесса проектирования одежды, но и возможности виртуального взаимодействия с покупателями путем представления в Интернете промышленной коллекции или организации ее онлайн-продаж, что предполагает поиск, аккумуляцию, систематизацию и преобразование антропометрической информации о потенциальных потребителях продукции. Таким образом, одной из важнейших задач швейной промышленности на современном этапе стало обеспечение эффективного инструментария для обеспечения цифровой информации об особенностях пространственной формы фигур потребителей отечественных швейных изделий, о способах ее оперативного получения и преобразования для проектирования, изготовления и продажи одежды.

1.1. Существующие подходы к антропометрическим исследованиям и формированию информации для проектирования одежды

Проводимые в течение последнего столетия антропологические исследования не только имеют большое значение для развития науки, но и широко применяются на практике в различных областях, в том числе в медицине, физкультуре и спорте, судебной экспертизе и, конечно, в легкой промышленности.

Рассматривая исторические аспекты антропологических исследований, следует отметить, что в IV-V вв. до н.э. Гиппократом было положено начало изучению физических особенностей людей с учетом влияния климатических и природных условий. В Средневековье исследованию строения и формы человеческого тела посвящены работы Авиценны. В эпоху Возрождения дальнейшее развитие антропологических знаний базировалось на интересе к физической и духовной жизни человека, обусловившем появление трудов Леонардо да Винчи по анатомии. В тот период учеными были выделены разные типы телосложения человека, пропорции которого получили отражение в трактатах немецкого художника А. Дюрера [56].

На основе изучения ископаемых останков исследовалась эволюция человека и его изменчивость, что потребовало разработки новых методов измерений и их статистической обработки, применение которых привело к развитию возрастной морфологии, теоретической и прикладной антропологии. В XIX в. в различных странах Европы созданы антропологические общества для изучения биологии человеческого рода с учетом его культурного развития. В 1864 г. в Москве проф. А.П. Богдановым организован Антропологический отдел Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова (МГУ), его преемниками Д.Н. Анучиным и В.В. Бунаком в 1919 г. создана кафедра антропологии МГУ, а в 1922 г. - Институт антропологии. В 1920-х гг. А.И. Ярхо и П.Н. Башкировым

разработано учение о физическом развитии человека, выделены его параметры, такие как рост и окружность грудной клетки [32, 304].

В качестве *методов антропологических исследований* вариации размеров и формы тела человека используются описательная и измерительная методики, называемые соответственно «антропоскопия» и «антропометрия».

В 1927-31 гг. В.В. Бунаком и Р.Мартинном предложены *методики антропометрических исследований* [42, 96], на основе которых разработаны антропологические инструменты, используемые до сих пор во всем мире, в том числе для судебно-медицинской идентификации личности [524]. Это способствовало внедрению в СССР научных методов проведения антропологических исследований и обработки массовых антропометрических данных, в результате которых были установлены стандарты для изготовления предметов личного пользования: одежды, обуви и др. В дальнейшем методики антропометрических и морфофизиологических исследований были развиты Н. Волянским, Н.С. Смирновой и Т.П. Шагуриной [106, 148, 229].

В 1937 г. стандартизированы главные антропометрические размеры и выделены типы пропорций тела [223], в 1940 г. определены типы физического развития человека [224] и типы его конституции на основе корреляции отдельных признаков [224, 293], установлены морфологические типы по росту, весу, окружности груди и их функциональной характеристике [288]. Для художников С. Моллье систематизировал обширный иллюстративный материал, подробно рассматривающий конструкцию человеческого тела [107].

К 1940-м гг. создана российская антропологическая школа, разработаны теории о физическом строении и развитии человека, об индивидуальной изменчивости, о пропорциях, конституции и форме тела, о связях размеров тела между собой, о закономерностях роста [32, 41]. По результатам изучения особенностей телосложения человека созданы

различные классификации человеческих фигур, в том числе по типу осанки, основные из которых предложены Л.П. Николаевым, О.Н. Аксеновой и Н. Волянским [173, 229, 262, 263].

Дальнейшие исследования П.Д. Горизонтова, М.Я. Майзелиса и Г. Гримма посвящены основам конституциональной биологии и антропометрии [45, 47]. М.Ф. Иваницким проведены исследования по изучению движений человеческого тела [64]. В.Е. Дерябиным рассмотрены вопросы корреляции между некоторыми продольными и поперечными размерами тела, изучена изменчивость пропорций тела, предложены теории многомерной биометрии и морфологической типологии [50, 234, 235, 236]. Е.М. Маргориным определены особенности индивидуальной анатомической изменчивости человека [95]. Властовским В.Г. исследованы пропорции и тотальные размеры тела [227, 228], Х.Т. Карме и В.Н. Яниной установлены ведущие факторы в системе размеров тела у женщин [241, 303]. В 1979 г. В России переведены работы зарубежных ученых Дж. Тэннера и В. Рейнолдса об исследовании роста и конституции человека [157].

К 1990-м гг. с участием Я.Я. Рогинского, М.Г. Левина, Е.Н. Хрисанфовой, И.В. Перевозчикова, Л.И. Тегако, И.И. Саливон сформирована теория российской антропологии [111, 137, 155, 164, 165], которая продолжает развиваться благодаря современным теоретическим и прикладным исследованиям, посвященным корреляции некоторых параметров конституции человека, проекции центра масс человека, изучению осанки тела у детей и взрослых и многим другим [154, 163, 174, 186, 197, 225, 233]. В последнее время изучаются проблемы возрастной антропологии и индивидуально-типологической изменчивости населения [43, 274, 287, 302], создается банк данных физического развития индивидов, проживающих в различных регионах [245, 258, 282-285].

Информация о поверхности человеческих фигур приобретает все более важное значение в различных прикладных аспектах, так, к началу XXI в. создано новое направление интегративной биомедицинской антропологии

как междисциплинарного синтеза различных антропологических знаний о человеке, включая исследования в области клинической медицины, физической культуры и спорта и др. [113, 258]. Основы спортивной антропологии и морфологии были заложены в 80-х годах прошлого века Э.Г. Мартиросовым, Б.А. Никитюком и А.А. Гладышевой [97, 112] и развиваются современными исследователями [89, 176]. Антропометрическая характеристика частей человеческого тела важна для теории нормальных и аномальных показателей здоровья, профилактики и лечения заболеваний, для эргономики [320]. Измерение антропометрических характеристик при передвижениях человека (*Medved V.*, 2000) помогают определить кинематику движений и миоэлектрические изменения, связанные с двигательной активностью, что важно для восстановительной и спортивной медицины [329]. На основе измерения ориентации антропометрических точек с помощью носимых на теле инерциальных датчиков немецкими исследователями из Мюнхенского технического университета (*Schwarz L.A. et al.*, 2012) предложен способ обнаружения аномальных движений человеческого тела, позволяющий автоматизировать анализ визуальных и сенсорных наблюдений, обеспечить объективную оценку характера деятельности и поз спортсменов для контроля за техникой на соревнованиях [436]. Для определения объема тела человека и процента жира в составе его организма американскими специалистами (*Pepper M.R., et al.*, 2011) внедрена технология лазерного трехмерного (3D) сканирования поверхности тела человека [425].

В настоящее время высокотехнологичные способы получения антропометрической информации позволяют отвечать на многие актуальные вызовы современности. Данные антропологии используются в судебной медицине для составления словесных портретов и идентификации костных останков. Д. Жангом, Г. Лу (*Zhang D., Lu G.*, 2013) и другими американскими учеными различные характеристики поверхности тела человека положены в основу биометрических методов автоматической идентификации и

аутентификации личности, основанных на алгоритмах 3D-визуализации, поиска, сопоставления и синтеза, которые приобретают все большее значение в автоматизированных компьютерных приложениях общественной безопасности, охраны, контроля доступа, криминалистики, банковского дела и др. [305, 350]. Для идентификации людей с помощью общественно доступных баз данных, в том числе для поиска пропавших без вести, британскими учеными (*Choudhury S.D., Tjahjadi T.*, 2013) разработан метод распознавания и анализа пространственно-временной формы динамического движения человека, то есть его походки, независимо от его скорости, одежды и прически [368]. Ф. Мусманом (*Moosmann F.*, 2013) предложено использовать трехмерные изображения людей, снятых лазерными сканерами внутри транспортных средств, для обнаружения произвольных участников дорожного движения [331]. Для автоматического распознавания взаимодействия между людьми в Техасском университете (*Park S., Aggarwal J.K.*, 2006) создана система сегментирования виртуальной трехмерной (3D) модели тела человека и наблюдения за различными частями организма, названная «система многоцелевого и мультисвязанного слежения на основе графа реляционных характеристик тела человека (*ARG-MMT/ attribute relational graph, multi-target, multi-association tracking*)» [423], которая могла бы использоваться в качестве инструментария анонимного антропометрического обследования населения.

Уже в 1930-х гг. Л.П. Николаевым результаты антропологических исследований были использованы для совершенствования процессов конструирования в швейной промышленности, в том числе для рационализация построения деталей одежды с учетом антропометрических данных, влияния средних контуров туловища мужчин и женщин на детали кроя и определения отклонений индивидуальных фигур от них [259-261]. Данные этих прикладных исследований легли в основу первых стандартов для массового производства одежды в СССР.

В конце прошлого века на территории СССР и стран Восточной Европы были осуществлены системные антропологические исследования всего населения, установлены географические особенности строения тела, предложены методы размерной антропологической стандартизации, разработана размерная типология населения стран-членов СЭВ [84, 85, 114, 237, 300]. Ю.С. Куршаковой, Т.Н. Дунаевской, П.И. Зенкевич, А.Л. Пурунджан, В.П. Чтецовым, В.Е. Дерябиным, Б.А. Никитюком, были предложены математические подходы к разрешению таких антропологических задач, как установление закономерностей изменчивости размерных признаков фигуры человека и их сочетаний, анализ факторов внутригрупповых вариаций, характера распределения и межгрупповой изменчивости размерных признаков, включая установление различий между группами людей по территориальным, профессиональным и другим признакам. Современные исследования в этом направлении проводились под руководством С.К. Лопандиной в ЦНИИШПе, результаты которых реализованы в принятых государственных стандартах по классификации типовых фигур для проектирования одежды [7, 8, 11-15, 253]. Антропометрические исследования размеров, форм головы и лица женщин, проведенные Л.В. Лопасовой, Ю.В. Кулиш, Я.В. Севастьяновой, способствовали совершенствованию проектирования головных уборов [255].

Для решения задач массового производства одежды Т.Н. Дунаевской и др. предложен подход формирования размерной типологии населения, учитывающей анатомию и морфологию, которая легла в основу создания прикладной антропологии и биомеханики для швейной промышленности [54, 55]. Дальнейшие исследования в этом направлении проводились учеными МГУДТ М.А. Гусевой, Р.В. Иевлевой, И.А. Петросовой, А.Ю. Рогожиным и др., [124, 125], РосЗИТЛПа СЭВ, Л.П. Шершнёвой, Л.В. Ларькиной, Т.В. Пирязевой [169], ИГТА Ю.А. Костиным [2005], МГУС Н.М. Конопальцевой, Е.Ю. Волковой, И.Ю. Крыловой [70].

Тем не менее, применение для проектирования одежды массового производства размерных признаков только типовых фигур не обеспечивает достаточную удовлетворенность потребителей качеством посадки изделий. Для изучения этой проблемы в Оклахомском государственном университете (Petrova A., Ashdown S.P., 2012) проведен сравнительный анализ американских систем размеров одежды, предназначенных для типовых [564] и нетиповых фигур американцев путем экспертной оценки качества посадки жакетов, изготовленных по размерным характеристикам каждой из систем и сфотографированных на респондентах с различным телосложением. Результаты исследования показали, что лучшей посадкой отличались изделия, в проектировании которых учитывались дополнительные размерные признаки фигур, а худшая посадка изделий была отмечена для фигур с большей разницей между обхватами груди и бедер (*hip-bust drop*) [426]. Таким образом, существующие в глобальных рамках стандарты, включающие размерные признаки выделенных типовых фигур, направлены скорее на решение производственной задачи оптимизации количества размероростов выпускаемой продукции, чем на повышение удовлетворенности потребителей качеством посадки и соразмерности одежды, что свидетельствует о важности более глубокого антропометрического анализа населения с более детальным описанием поверхности человеческих фигур.

Турецкими исследователями А. Варушкан и Э.Булган (A.Vuruskan, 2011) была реализована национальная программа обоснования размерных стандартов для промышленного выпуска одежды на основе технологии 3D сканирования, позволившей классифицировать особенности телосложения населения (рис.1.1), а также развивать автоматизированные приложения для проведения антропометрических обследований и измерений собственных фигур (*made-to-measure*) [450]. Следует отметить, что на смену сложившемуся подходу субъективно-визуальной оценки для определения

особенностей телосложения приходят методы количественной оценки параметров формы поверхности человеческого тела.

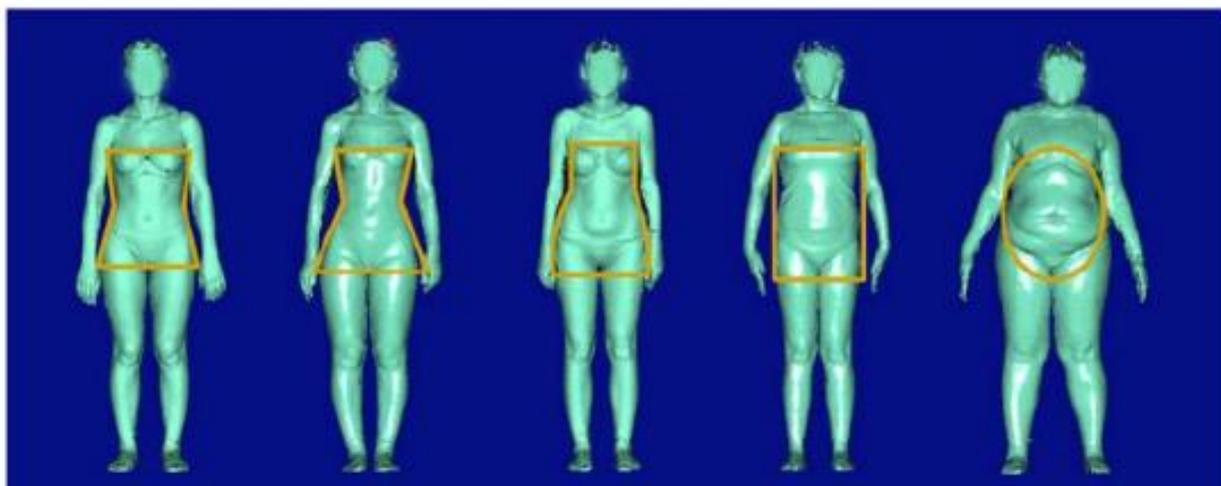


Рисунок 1.1 – Фрагмент классификации телосложения женских фигур по данным трехмерного сканирования в Турции (2011) [Vuruskan]

В 2013 г. в Германии немецкими учеными Э. Хлаингом и др. (*Hlaing E.C. et al., 2013*) проводилось антропометрическое исследование различных типов нижней части женского тела, отражающее определенную целевую группу немецкого населения, перспективы применения которого в швейной промышленности представлены в п.1.3 диссертации (рис.1.2) [381].

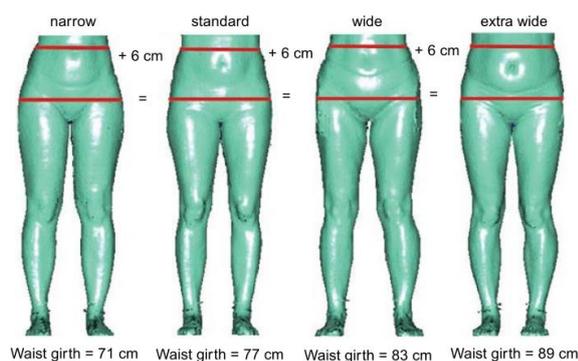


Рисунок 1.2 – Фрагмент классификации телосложения нижней части женских фигур по данным 3D сканирования в Германии (2013) [381]

В основе автоматизации производства лежат проблемы передачи информации, что было обосновано еще в 1956-65 гг. российским математиком А.Н. Колмогоровым [244]. На современном этапе развития технологий автоматизированного проектирования и производства одежды в качестве информационного обеспечения процесса необходимы данные о пространственной форме фигур потребителей. Различные аспекты информационного обеспечения автоматизированного проектирования

одежды рассматривались в работах Т.В. Бутко [179], И.В. Лашиной [190], Т.В. Медведевой, Е.Я Яковлевой, Л.Э. Вир [256, 257], Н.Ю. Савельевой [203], Н.В. Поздняковой [200], особенности представления данных для трехмерного проектирования – в исследованиях Н.Н. Раздомахина [131], Е.В. Курбатова [189], И.А. Петросовой, М.А. Гусевой, Л.В. Лопасовой [269]. Формированию информации для создания визуальных образов посвящены диссертации С.В. Мелковой [196] и Н.В. Афанасьевой [175].

Современный подход к оценке организма как целого основан на индивидуально-типологическом антропологическом подходе, в основе которого лежит фундаментальная, целостная характеристика человека. Общая конституция характеризуется функциональным единством всех морфологических, физиологических и психических свойств человека, которое позволяет организму определенным образом реагировать на воздействия внешней среды. Уникальная индивидуальность каждого человека зависит и от территориальной, и от половозрастной групп. В то же время во многих отраслях до настоящего времени широко используется среднестатистический подход к человеку без учёта его индивидуальности, региональных и морфологических особенностей, что существенно снижает эффективность планируемых воздействий на конкретного человека, в том числе продажи ему швейных изделий.

В швейной отрасли проводятся исследования в области проектирования и производства одежды, которая учитывает особенности телосложения индивидуальных потребителей, такими учеными, как И.В. Лашина (ОГУИС), Л.П. Шершнева, Г.П. Бескорвайная (МГУТУ), П.И. Рогов, Н.М. Конопальцева (МГУС), Е.К. Волкова, Ц.С. Ду, Е.Ю. Кривобородова, Г.С. Овсепян (МГУДТ) [36, 78, 86, 87, 138, 139, 180, 185, 198, 213] и научными коллективами [61]. Возможность проектировать соразмерную одежду для потребителей с различной осанкой изучалась в работах Т.В. Медведевой, Е.Б. Булатовой, Е.Б. Кобляковой [104, 178].

Современными зарубежными исследованиями установлено, что в глобальном масштабе существует высокая неудовлетворенность населения соразмерной и хорошо сидящей на фигуре одеждой, что во многом определяется недостаточностью антропометрической информации и некорректностью ее использования потребителями. Так, американскими исследователями из Государственного университета Айовы (*Kim H., Damhorst M.L., 2010*), была установлена прямая зависимость между недовольством формой собственного тела и соразмерностью выбираемой одежды, между недостоверностью восприятия собственных размеров и качеством посадки одежды. В то время как удовлетворенность респондента своим внешним видом положительно влияет на качество посадки выбранной для примерки одежды и на намерение совершить покупку в Интернете [393]. Так как исследователями выявлены размеры и полноты фигур потребителей, обуславливающие высокую степень недовольства как своим телом, так и выбираемой одеждой, можно предположить, что получение достоверных размерных характеристик потребителей этой целевой группы с помощью доступного современного инструментария приведет к повышению удовлетворенности населения производимыми швейными изделиями.

Об актуальности и целесообразности проведения высокотехнологичных антропометрических обследований свидетельствуют результаты сопоставления данных 3D сканирования фигур и самоидентификации размеров и формы тела респондентов в соответствии с размерными категориями населения США (*categorized Size USA data*), которые были получены Х. Сонгом из Сеульского университета и С. Ашдаун из Корнельского университета (*Song H.K., Ashdown S.P., 2013*). При изучении достоверности оценки формы и размеров собственного тела потребителями одежды массового изготовления была установлена взаимосвязь между удовлетворением посадкой одежды и восприятием формы и размеров собственной фигуры, и особенно нижней части тела, что объясняет существующие противоречия между производителями и покупателями в том,

какая одежда более подходит потребителям. Анализ восприятия собственного тела покупателями поможет производителям одежды лучше понимать своих клиентов и удовлетворить ожидания потребителей от качества посадки одежды (*fit satisfaction*) [441].

Интересно, что по результатам изучения культурной обусловленности поведения американских и российских потребителей, проведенного в Калифорнийском университете Лонг-Бич и Обернском университете штата Алабама М. Агекян и др. (*Aghekyan M., et al., 2012*), установлена значительная разница в восприятии размеров и привлекательности собственного тела у американцев и россиян, так как при одном и том же индексе массы тела (*BMI*) отечественные респонденты менее корректно выбирали размер своей одежды и меньшим количеством баллов оценивали привлекательность своей фигуры [351]. Поэтому можно сказать, что для отечественных потребителей проблема обеспечения корректной антропометрической информацией актуальна в большей степени.

Следует отметить широкое применение технологии *3D* сканирования тел человека в качестве эффективного и безопасного инструментария получения антропометрической информации для нужд проектирования одежды. Так, исследователями Университета Миннесоты М. Соном и Э. Бай (*Sohn M., et al., 2012*) технология *3D* сканирования использовалась для изучения влияния ежемесячного изменения формы тела беременных женщин на конструкцию одежды. В процессе виртуальных примерок определялась взаимосвязь между изменениями фигур женщин и величиной корректировки лекал деталей изделий, была установлена целесообразность модификации полочек при стабильности конструкции спинки, а также непропорциональный характер изменения формы фигуры и соответственно конструкций одежды в течение периода беременности [438].

В основе проектирования изделий с повышенными эргономическими требованиями должны лежать более глубокие антропометрические исследования. Например, для проектирования одежды, предназначенной для

использования в непрерывном движении при занятиях специальной активной деятельностью, такой как парапланеризм (Петросова И.А. и др., 2012), необходимо учитывать характер и величину изменения размерных признаков в динамике [271]. Недостаточность традиционных антропометрических измерений для объективной оценки качества и безопасности изделий, предназначенных для защиты строительных рабочих от падений и травм и имеющих подвесную конструкцию из специальных ремней, была установлена в Институте охраны труда и здоровья Моргантаун в Западной Вирджинии (*Hsiao H., et al., 2003*). Результаты измерений, полученных с помощью 3D лазерного сканирования, размеров и формы тела строительных рабочих в стационарном состоянии и при постоянной работе (с ремнями безопасности и без них) показали необходимость комплексного редизайна изделий, так как у 40% испытуемых качество посадки подвесной конструкции в динамичных позах не соответствовало предъявляемым требованиям [383].

В Вирджинском государственном политехническом институте Г. Парком и Д. Кинсайд (*Park H., Kincade D.H., 2010*) проведен анализ влияния экономической глобализации на общие тенденции развития ведущих производителей американской швейной промышленности с 1968 по 2009 г., включая «Nike, Inc.». Первоначальные изменения в отрасли были направлены на разделение деятельности на основную (проектирование и продажу продукции), оставшуюся на территории США, и аутсорсинг производства изделий в других странах. Дальнейшие изменения касались ориентации на большую инновационность продукции по сравнению с конкурентами, затем на креативность и изобретательность рекламных кампаний, потом на гибкость и реактивность маркетинга (диверсификация рынков сбыта посредством брендинга и сегментации ниш), далее на внедрение инноваций при все большей ориентации на потребителя, реагирование на глобальные экологические запросы, жесткий отбор зарубежных подрядчиков. На современном этапе стратегической задачей стало достижение

инновационных, творческих и маркетинговых целей в рамках имеющихся ресурсов. Благодаря последовательному пересмотру ключевых целей бизнес-стратегий с производственных на реактивно ориентированные на потребителя американским швейным компаниям удалось ответить на изменения глобальной окружающей среды и сохранить конкурентоспособность при меняющемся рынке [422]. Исходя из результатов данного исторического анализа и несмотря на сложную экономическую ситуацию в отечественной отрасли можно сделать вывод о высоком положительном потенциале швейной промышленности и необходимости формирования парадигмы клиентоориентированного швейного производства.

Американскими и южно-корейскими исследователями (*Song H.K., Ashdown S.P., 2012*) утверждается, что к 2012 г. существующие системы автоматизированного проектирования (САПР) еще не способны создавать одежду с идеальной посадкой (*perfect fit*) для каждого потребителя из-за универсального механизма градации лекал на типовую фигуру базового размеророста, который не позволяет учитывать особенности индивидуального телосложения клиентов. Поэтому предлагаются новые подходы к измерению фигуры человека (*made-to-measure systems*), с более подробным описанием особенностей телосложения, чтобы создавать изделия с лучшей посадкой для конкретных потребителей [440]. В качестве перспективного направления развития швейной промышленности рассматривается концепция *массовой кастомизации*, реализуемая путем разработки автоматизированных приложений для пользователей по подбору подходящей и хорошо сидящей одежды из промышленных коллекций на сайтах производителей [440, 459].

Под «*массовой кастомизацией*» (*mass customization of garments*) понимается изготовление продукции в промышленных условиях с возможностью ее адаптации или модификации в соответствии с требованиями потребителей, то есть совокупность подходов массового

производства одежды и индивидуального пошива изделий. Для реализации этой производственной концепции используется «система управления взаимоотношениями с клиентами (*customer relationship management/ CRM*)» как программное приложение, предназначенное для автоматизации взаимодействия с потребителями с целью повышения уровня продаж и упрочнения связи с кругом своих клиентов путём аккумуляции информации о них и их покупках для последующего анализа и формирования плана выпуска изделий и стратегии продаж.

Учеными Техасского университета в Остине Б. Су, Ю. Хуаном, У. Ю, Т. Чэнем, Ю. Чжунюм (*Xu B., et al., 2003*) предложена концепция массовой кастомизации швейной промышленности на основе внедрения трехмерных технологий (*three-dimensional technology*), в первую очередь для 3D сканирования человеческих фигур и 3D моделирования одежды, способствующих решению проблем определения размеров фигуры и проектирования одежды. Авторами разработана интегрированная система для выполнения сканирования индивидуальной фигуры, ее виртуального моделирования и электронных измерений для проведения виртуальных примерок различной одежды, предлагаемой в Интернете [458, 460, 461]. Инновационные технологии не только помогают потребителям найти одежду с хорошим качеством посадки благодаря цифровой информации о размерах и форме тела, но также позволяют производителям одежды создать продукцию, учитывающую личные предпочтения потребителей.

В рамках массовой кастомизации одежды греческими исследователями Эгейского университета (*Mprtra M.L., et al., 2010*) проводился статистический анализ антропометрических данных 13 тыс. греческих мужчин, чтобы определить рациональное количество размеров для маркировки одежды, необходимое для достижения баланса между себестоимостью швейной продукции и процентом удовлетворенности потребителей [416]. Для развития процессов интерактивной массовой кастомизации греческими исследователями разработаны методы

автоматической сортировки моделей одежды на сайтах производителей, для облегчения поиска изделий, которые в большей степени подойдут конкретным потребителям, а также предложен способ расчета индекса «уровня удовлетворенности клиентов швейными изделиями», проверенный на группе мужских изделий массового производства [416].

Результаты исследования, проведенного в ЮАР (*Pandarum R., et al., 2011*), показали, что женщины с грудью, имеющей размер больше среднего, испытывают значительные трудности с выбором подходящих бюстгалтеров и проблемы от их неудобства при носке, а также не удовлетворены качеством посадки выбранных изделий на фигуре [421]. Британскими исследователями Дж. Вайтом и Дж. Скурром (*White J., Scurr J., 2012*) также были обнаружены существенные различия между размерами выбранного и адекватного корсетных изделий, так как потребительницами часто выбирался завышенный размер изделия по обхвату груди и недооценивалась полнота чашки, при этом наибольшие проблемы возникали у женщин с грудью большого размера [456]. Исследователями Шанхайского университета Дунхуа Й. Дином и Й. Су (*Ding Y.S., Xu Y.C., 2008*) предложена концепция интеллектуализации оптимального выбора размеров и моделей одежды (*IAANP*), на основе алгоритмов иммунного (*Immune Algorithm*) и иерархического анализа (*Analytic Hierarchy Process*), сложность которого обусловлена разнообразием предлагаемых швейных изделий и форм тела человека, трудностью корректного подбора подходящего изделия, соответствующего индивидуальным меркам (*made-to-measure*), что особенно актуально при онлайн-продажах одежды [373].

В Высшей школе бизнеса Стэнфордского университета К. Цзян, Х. Ли и Р. Сейферт (*Jiang K., et al., 2006*) проведен анализ экономической эффективности концепции массовой кастомизации швейной промышленности, предполагающей создание дополнительной системы заказов отдельных изделий помимо планового массового выпуска продукции. Согласно традиционному подходу равномерного распределения

предпочтений заказчика и оптимизации ассортимента при массовом производстве заранее устанавливается определенный ассортимент швейных изделий по моделям и размероростам, объем выпуска и цены на продукцию, то есть формируется обобщенный плановый заказ по выпуску продукции. При внедрении на швейных предприятиях принципов массовой кастомизации в качестве возможных выгод прогнозируются: 1) прибыль от предложения каждому клиенту идеального для него продукта; 2) дополнительный доход от ценовой дискриминации; 3) сокращение издержек за счет объединения рисков в рамках стохастического спроса [387].

В Техасском университете A&M проведено исследование экономической эффективности внедрения принципов массовой кастомизации при онлайн продаже одежды на крупнейшем в мире сайте по объему продаж швейных изделий *landsend.com* компании «*Lands' End, Inc.*» (Mahfouz A.Y., 2005), а именно: интерактивность, персонализация покупок, инновационные технологии, многоканальное распределение продукции, объединение с технической инфраструктурой других компаний для повышения удовлетворенности потребителей, в результате чего за трехлетний период с 1999 по 2002 гг. онлайн-продажи вебсайта выросли в пять раз (с \$61 до \$299 млн.) [411].

Исследователями государственных университетов Иллинойса и Оклахомы Х. Гам и др. (Gam H.J., et al., 2009) предложена модель устойчивого развития швейного производства (*cradle to cradle apparel design/ C2CAD*), базирующаяся на функциональном и эстетически выразительном дизайне и включающая ряд этапов: исследований, проектирования промышленных образцов, принятия решений по развитию технологических и бизнес процессов, модернизации производства [375]. Необходимость повышения конкурентоспособности компаний требует инноваций и радикального переосмысления традиционных продуктов и процессов, что, по мнению итальянских ученых из Миланского политехнического университета (Carulli M., et al., 2013), может быть реализовано благодаря концепции

массовой кастомизации и виртуального 3D моделирования одежды, позволяющих как улучшить функциональность, привлекательность и технологичность производимых швейных изделий, так и обеспечить устойчивое развитие компаний [359]. Таким образом, учеными доказывается гипотеза о зависимости устойчивого развития современного швейного производства в США и Италии от его модернизации, и соответственно позволяет нам говорить о необходимости все большего внедрения инновационных технологий проектирования в отечественное швейное производство.

Американскими исследователями Департамента текстильной и швейной технологии Государственного университета Северной Каролины Д. Сатам и Х.Ли (*Satam D. et al.*, 2011) и Департамента дизайна Шанхайского университета Дунхуа Я. Лиу (*Liu Y.*) изучены экономические и статистические факторы мировой экономики, обуславливающие необходимость внедрения передовых технологий автоматизированного проектирования и концепции *массовой кастомизации* в легкой промышленности, которые способствуют ускорению реализации продукции, оперативному реагированию на запросы потребителей и на глобальные тенденции развития. Анализ структуры закупок и расходов потребителей с учетом онлайн-продаж швейных изделий, статистических данных о занятости работников и трудоемкости изделий в мировой текстильной и швейной промышленности показал растущий интерес к массовой кастомизации. Установлено, что в основе массовой кастомизации швейных изделий лежит персонализация разработок, базирующаяся на внедрении в производство интеллектуальных двух- (2D) и трехмерных (3D) САПР одежды [434].

В советский период приоритетной стратегией швейных предприятий было снижение производственных издержек путем сокращения трудоемкости и материалоемкости. Однако на современном этапе эффективность швейного производства в большей степени зависит от

обеспечения и роста продаж, что и обусловило ориентацию глобальных рынков на конкретных потребителей. Производители способны удовлетворять дифференцированные запросы конкретных клиентов, что было долгое время возможно только в рамках индивидуальных заказов продукции в ателье или у частных портных. Концепция массовой кастомизации подразумевает создание основы изделия в промышленных условиях с возможностью его последующей модификации под требования каждого конкретного клиента, при условии предоплаты, обеспечивающей возмещение затрат на преобразование типового промышленного изделия под индивидуальные запросы. Другим важным условием внедрения принципов массовой кастомизации в отечественное швейное производство является необходимость создания трёхмерных (3D) моделей фигур конкретных потребителей для персонализации проектирования одежды или проведения виртуальных примерок изделий, а также для использования автоматизированных приложений к системам интернет-продаж компаний-производителей.

Проведенный анализ показывает целесообразность реализации принципов «массовой кастомизации» при разработке методологии автоматизированного трехмерного проектирования внешней формы одежды как одного из перспективных направлений развития швейной промышленности в глобальном масштабе.

1.2. Систематизация способов получения информации о пространственной форме фигуры человека

В основе информационного обеспечения процесса проектирования одежды лежит систематизированная антропометрическая информация, характеризующая пространственную форму фигуры человека. Традиционные расчетно-графические методы конструирования базируются на исходной информации об основных размерных характеристиках человеческого тела, содержащихся в классификациях типовых фигур по ростам, размерам,

полнотным группам и по половозрастным признакам, предназначенных для проектирования одежды массового производства. Созданию классификаций типовых фигур предшествовало проведение массовых антропометрических обследований населения, обусловленных различием телосложения людей, типичного для различных регионов, этнической принадлежности и определенного исторического периода. С другой стороны, исторически сложилась система индивидуального пошива одежды, в том числе эксклюзивной для представителей богатых слоев общества (например, на лондонской улице Севил Роу (*Saville Row*), известной главным образом лучшими портными по мужской одежде) или нестандартной для людей с ярко выраженными особенностями телосложения (в ателье). В этом случае для проектирования одежды необходимы размерные признаки, характеризующие индивидуальные особенности каждой фигуры, получаемые с помощью различных измерительных устройств.

Следует отметить, что размерные признаки, выделенные в государственных стандартах, характеризуют только основные элементы формы и размеров фигуры человека, но не отражают особенностей всей поверхности тела. Поэтому для более подробной информации о фигуре человека применяются специальные приспособления.

На современном уровне развития швейной промышленности можно выделить ряд подходов к формированию информации, характеризующей внешнюю форму фигуры потребителя:

1. Определение небольшого количества основных размерных признаков фигуры либо по национальным стандартам систем размеров, либо путем контактных измерений индивидуальных фигур с помощью традиционных инструментов (сантиметровой ленты и др.). Этот подход принят для массового производства или индивидуального изготовления одежды на заказ.
2. Использование различных механических устройств и приспособлений для усовершенствования процесса снятия мерок с фигуры человека.

3. Применение различных технических измерительных систем, использующих специальное фото, видео, оптическое, лазерное, электронное и компьютерное оборудование со световым, тепловым и инфракрасным излучением для получения информации о размерах и форме фигуры клиента.
4. Получение информации о фигуре человека в виде «облака точек» (*Point cloud*) как файла данных, состоящего из большого количества точек в трёхмерной системе координат (X , Y и Z), полученных в результате автоматического измерения внешней поверхности объекта с помощью трехмерного (*3D*) сканирования. Облака точек могут конвертироваться в полигональную сетку для «реконструкции поверхности» (*surface reconstruction*). Для преобразования облака точек в трёхмерные поверхности можно использовать метод триангуляции Делоне, когда строят сетку треугольников поверх существующих вершин облака точек. Одним из программных приложений, где облака точек используются непосредственным образом, является индустриальная метрология и проверка качества. В этом случае облако точек, полученное в результате трёхмерного сканирования готового промышленного изделия, может быть сопоставлено с виртуальной моделью этого изделия или другого облака точек, и в результате сравнения можно обнаружить различия между проектными и фактическими параметрами. Эти различия могут отображаться в виде цветных карт, на которых места и участки отклонений между реальной и виртуальной моделью могут быть автоматически выделены определённым индикатором. Кроме того, трехмерное сканирование фигур потребителей товаров определенных производителей позволяет создать базу данных клиентов.
5. Анализ отклонений размерных признаков потребителя от типовых, определяемых путем примерки образца готового изделия на исследуемой фигуре и последующей модификации конструкции по выявленным дефектам посадки для обеспечения надлежащего соответствия проектируемой одежды заданной фигуре. Такой подход применим в магазинах высокого класса, имеющих собственных портных для выполнения операций подгонки

готового изделия по фигуре клиента. Дополнительные затраты на использование труда портного высокой квалификации ведут к значительному повышению стоимости готовых изделий, что не подходит для большинства производителей, продавцов и потребителей готовой одежды.

С 30-х годов XX века для конструкторов швейных изделий был разработан ряд контактных механических «приспособлений для снятия мерок» с фигуры человека для индивидуального пошива одежды: И.М. и А.И. Семячкиными предложено устройство из ряда масштабных лент в направляющих рамках и пружинным затвором для закрепления лент (рис.1.3, а) [471], а Г.Н. Ждановым – устройство, надеваемое на плечо, с раздвижной рамкой и передвижными линейками для определения индивидуальных отклонений размеров заказчика от стандарта, и укрепленной в рамке пружины для определения размера проймы для данного размера фигуры (рис. 1.3, б) [472].

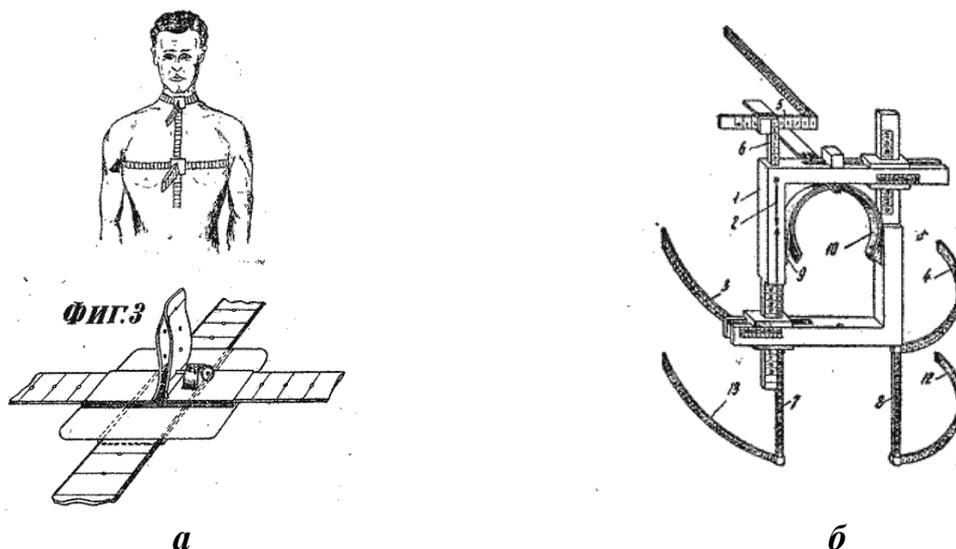


Рисунок 1.3 – Контактные механические устройства, применяемые в начале XX века: а - Приспособление Семячкиных [471]; б - Приспособление Г.Н. Жданова [472]

К механическим измерительным приспособлениям (1976) можно отнести устройства: В.Г. Полякова и др. «для обмера фигуры человека» с вертикальными стойками, кольцевой направляющей для каретки, с датчиками положения каретки и измерительной лентой, связанной с кареткой, и пультом управления [473] (рис. 1.4, а), а также устройство Л.Ю.

Иорта для определения положения плечевых скатов относительно линии талии благодаря закрепленным мерным лентам и для расчета длины переда до линии талии по положению грудных желез, определенному с помощью фиксирующих элементов [474].

З.Р. Салиховой (1994) и Т.В. Цимбал (2002) предложены устройства, содержащие продольные и поперечные измерительные полосы, проградуированные в единицах длины (рис. 1.4, б), позволяющие измерить как верхнюю часть тела человека, так и нижнюю опорную поверхность для проектирования поясной одежды [482, 487].

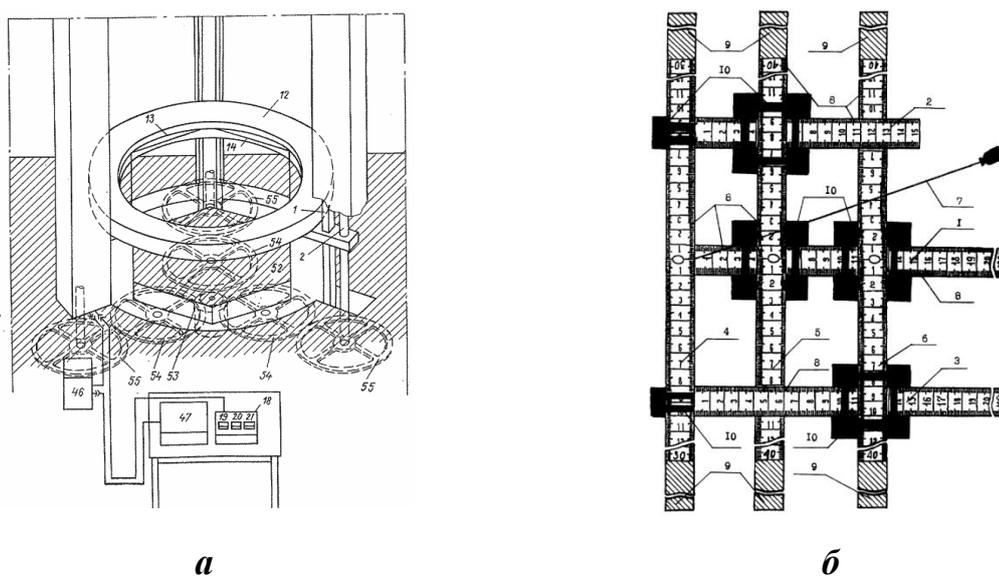


Рисунок 1.4 - Механические устройства для измерения размерных признаков фигуры человека: а- приспособление В.Г. Полякова и др. [473], б - приспособление Т.В. Цимбал [487]

На современном этапе развития швейного производства также разрабатываются контактные устройства для определения размерных характеристик отдельных частей тела, так, в 2010 г. в Т.М. Сумароковой и др. предложен способ обмера кисти для изготовления перчаток, включающий расположение и закрепление правой кисти на установленной измерительной позиции для измерения длины третьего пальца по измерительной шкале и обхвата кисти измерительной лентой с последующим усреднением полученных данных. На основании полученных размерных признаков кистей рук с учетом коэффициента пропорциональности по ширине и длине выполняют построение шаблона перчатки [517].

С появлением первых ЭВМ коллективом авторов ВНИИЛТМ и ИППИ АН СССР М.Н. Ивановым и др. была предложена автоматизация фиксации размерных характеристик в устройстве для обмера фигуры человека с механизмом углового сканирования, включающего пульт управления угломерным блоком, блоком обработки и выдачи информации и механизм вертикального перемещения узла углового сканирования с измерительной лентой и сигнальной планкой [478, 480].

Тем не менее, до сих пор малыми предприятиями, ателье, домами моды для снятия размерных характеристик потребителей принято использовать *самый простой измерительный инструмент* - традиционную сантиметровую ленту, и проектировать пространственную внешнюю форму одежды на основе собственного опыта специалистов.

В конце XX века для измерения характеристик фигуры человека создаются различные технические измерительные системы, использующие специальное фото, видео, световое, оптическое, лазерное, электронное и компьютерное оборудование.

Уже в 1980 г. в КТИЛПе Л.А. Агошковым и др. было разработано устройство, основанное на *фотограмметрических принципах* и содержащее кабину с щелевыми диафрагмами, кинематически связанную с приводом и с закрепленными на ней осветителем и приемником с объективом [476]. *Фотограмметрией (Photogrammetry)* можно назвать технологию дистанционного определения геометрических, количественных и других свойств объектов по фотографическим изображениям с помощью кадровых, щелевых и панорамных фотоаппаратов или радиолокационных, телевизионных, тепловых и лазерных систем, когда пространственные координаты точек объекта определяются путём измерений, выполняемых по двум или более фотографиям, снятым из разных положений, благодаря поиску общих точек на каждом изображении и определении расположения каждой из них в пространстве по пересечению лучей от фотоаппарата до выбранной точки на объекте.

Логическим развитием фотограмметрии стало применение цифровой техники для расчета дуговых и обхватных размерных признаков внешней формы тела человека по поперечным и продольным проекционным измерениям, полученным в результате фотографирования фигуры человека и дальнейшего масштабирования изображений, предложенное О.В. Покровской и Е.Ю. Кривобородовой (МГУДТ, 2003) [492]. Н.Н. Раздомахиным и др. (СПбГУТД, 2005) предложен способ бесконтактного измерения линейных размерных признаков фигуры человека путем измерения координат антропометрических точек *по фотографическим образам* сбоку, сзади и спереди фигуры человека для последующего вычисления трехмерных координат этих точек [498].

Исследователями Национального института измерений Великобритании Р. Личем и др. (*Leach R., et al., 2011*) для определения характеристик рельефа и контроля за структурой различных поверхностей рекомендуется применять широкий спектр оптических технологий [334].

В изобретении В.П. Черновым и др. (СПбГУТД, 2003) устройства для бесконтактного измерения топографии поверхности фигуры человека использованы широкоугольные источники и фотоприемники *светового излучения*, облучающие внутреннее пространство кольцевого модуля, для получения теневых контуров поперечных сечений рельефной поверхности измеряемого объекта в горизонтальных плоскостях с последующим вычислением координат узловых точек сечений (рис. 1.5, а). Таким образом, можно графически задать объемную форму поверхности измеряемого объекта в виде набора ее горизонтальных сечений с образованием каркаса поверхности [490]. Прототипом этого устройства (*D.C. Limbach, 1997*) послужила американская система бесконтактного оптического измерения топографии поверхности объекта (рис. 1.5, б), основным недостатком которой была громоздкость механических элементов привода для углового сканирования лучом в горизонтальной плоскости [483]. При этом предложенная система остается сложным механическим устройством,

требующим точной балансировки движущихся частей и трудоемких расчетов для определения координат точек поверхности объекта.

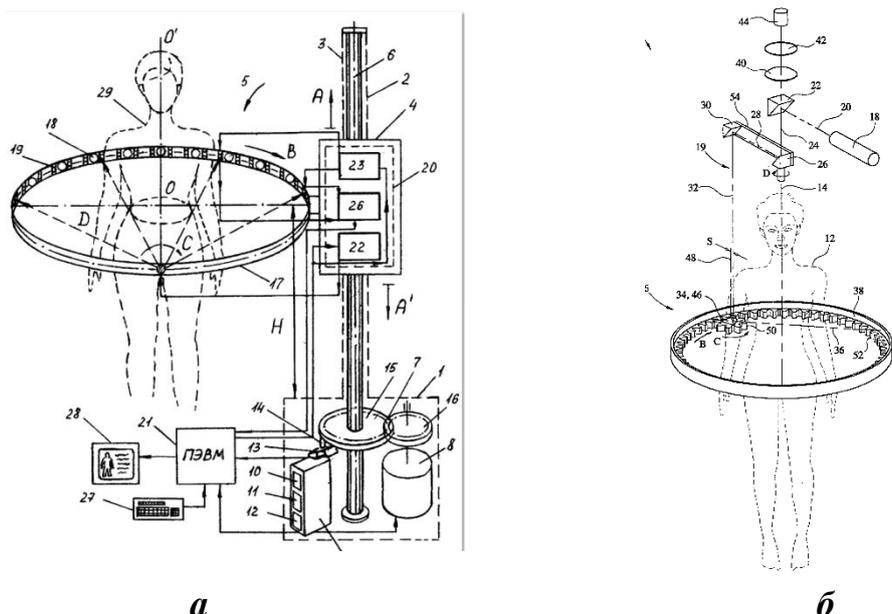


Рисунок 1.5 - Устройство для измерения топографии поверхности фигуры человека способом ортоскопического проецирования:
а- система предложенная российскими авторами СПбГУТД [490];
б - американский прототип [483]

В МГУДТ разработаны новые измерительные инструменты, использующие *лазерные излучатели* при фиксации положения лазерного луча: для определения координат точек измеряемой фигуры человека И.А. Петросовой и др. (2005), для изучения нижних конечностей - С.В. Семенякиным и др. (2007) [496, 503].

«Структурированная подсветка», применяемая для регистрации формы поверхности в трехмерной компьютерной анимации, легла в основу изобретений 2003 г. В.Я. Колючкина и др., А.В.Климова и др., Г.Г. Левина и др. и 2011 г. С.В. Двойнишникова и В.Г. Меледина В.Г [488, 489, 491, 519]. Основной принцип действия таких систем заключается в формировании на поверхности контролируемого объекта зондирующей структурированной подсветки путем освещения поверхности объекта пучком *оптического излучения*, пространственно модулированного по интенсивности или цвету. Затем регистрируется изображение искаженной рельефом поверхности объекта по структуре зондирующей подсветки, при этом высота рельефа поверхности определяется по степени искажения структуры подсветки.

Для дистанционного измерения линейных размеров и визуализации сплошной трехмерной поверхности исследуемых объектов в реальном режиме времени В.М. Тымкулом и др. (СГГА, 2012-13) предложено ввести дополнительные инструменты определения глубины изменения внешней формы объекта по его собственному *тепловому оптическому излучению* на основе регистрации и обработки тепловизионного изображения такие, как инфракрасные поляризационные фильтры и инфракрасное лазерное излучение [521, 522].

В российско-корейском проекте компании «Самсунг Электроникс» (2008) разработан способ автоматического формирования трехмерных образов на основе выделения 2D и 3D данных, определяющих контур отдельных элементов тела человека, путем обнаружения *статических объектов фона и регулярных динамических объектов-шумов* трехмерной модели фигуры человека [507]. Такие системы могут использоваться в мобильных приложениях для интерактивного управления, при этом получение реальных размерных характеристик распознанного объекта остается затруднительным.

Благодаря бурному развитию информационных технологий появились системы трехмерного сканирования широкого спектра действия, представленные в *Приложении А* и более подробно описанные в п.1.3.

В качестве отдельного направления следует выделить разработку интегрированных измерительных систем, позволяющих одновременно получать размерные характеристики тела человека, осуществлять построение *виртуального манекена* исследуемой фигуры и определять опорные точки, влияющие на построение чертежей конструкций одежды, что было реализовано учеными Техасского университета в Остине Б. Су и С. Сринивасаном (*Xu B., Sreenivasan S.V., 1999*) в качестве автоматизированной системы измерения и 3D визуализации тела, состоящей из цифровой камеры, поворотной платформы, освещения стенда и программного обеспечения для анализа 3D изображения фигуры. Для проектирования лекал одежды

измерялись длины криволинейных дуг поверхности тела, обхваты тела на заданной высоте и др., преобразуемые в 3D модель поверхности фигуры с использованием дифференциальной геометрии [459].

В японской разработке М. Канатани и М. Накаяма (2005) [499] авторами предложено определять параметры формы тела потребителя с помощью устройства бесконтактных трехмерных измерений, затем согласно перечню конструктивных точек передавать данные измерений фигуры в компьютер и экспортировать их в САПР одежды для изменения чертежей конструкции изделия в соответствии с формой тела потребителя (рис. 1.6, а).

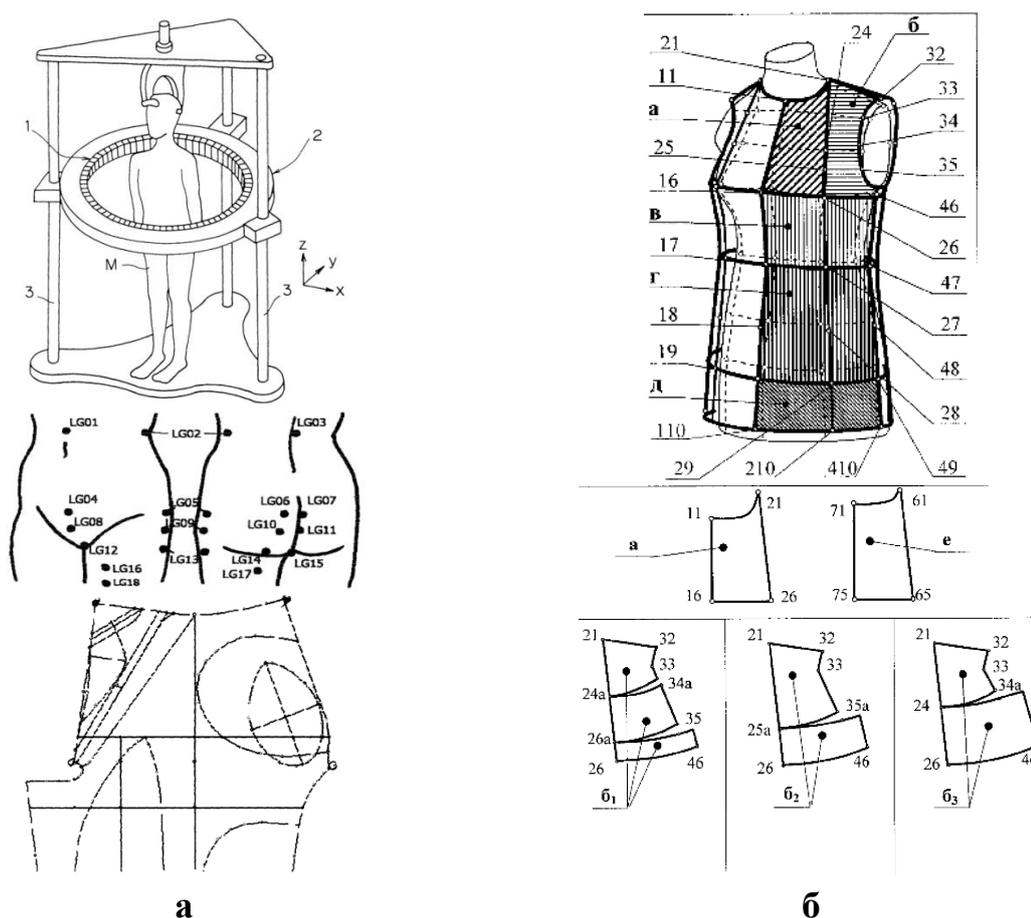


Рисунок 1.6 – Интегрированная измерительная система, экспортирующая данные о фигуре в САПР одежды: а-система «Хокуруку СТР Кооператив»; б- система «Центра наукоемких инновационных технологий для швейной промышленности», Иваново

В ИГТА Н.Л. Корниловой и др. (2009) разработан способ бесконтактных антропометрических измерений путем одновременного фотографирования потребителя с разных ракурсов, формирования стереопар

снимков в компьютере и последующего декодирования каждой стереопары с построением поверхности, соответствующей части тела измеряемого, что позволяет формировать поверхность *виртуального манекена* исследуемой фигуры. Полученные данные экспортируют в САПР одежды для создания трехмерной (3D) конструкции проектируемого изделия и ее развертывания на плоскости (см. рис. 1.6, б) [514]. Построение 3D модели осуществляется по опорным точкам на основе коэффициентов масштабирования, что исключает точность представления антропометрической информации и внешней формы фигуры. Следует отметить, что использование таких систем не позволяет достоверно оценивать соответствие проектируемого изделия техническому заданию и реальное качество посадки изготовленного образца одежды.

Возможность использовать готовые образцы одежды для определения размеров и особенностей телосложения индивидуальных фигур с последующей модификацией конструкции изделий реализована в разработках украинских авторов: М.Л. Воронина, В.У. Несмияна (1982), В.М. Белошицкого, В.Д. Щадырь (1989) [479, 481] и американских: С.К. Парк, М. Палмер, Д.С. Рудерман (US, 1999) [484]. М.Л. Ворониным был изобретен «мерочный жакет», для измерений фигуры человека, на которого надевают изделие требуемого размера, состоящее из двух полочек, спинки и рукавов, соединенных застежками и мерными лентами. Затем совмещают отдельные части изделия по линии талии, по горизонтальным и вертикальным линиям, устанавливают баланс изделия и закрепляют мерные ленты. Отклонения, зафиксированные на мерных лентах, записывают для использования при раскрое по заранее заготовленным лекалам. Перенос размеров на ткань производят путем обмеловки по заготовленным типовым лекалам с учетом отклонений, отмеченных при снятии мерок [479].

Исследователями Университетского колледжа Лондона и Лондонского колледжа моды (*Bougourd J.P., et al., 2000*) был реализован проект по изучению практики использования технологий

автоматизированного сканирования тела человека, для чего были измерены фигуры молодых женщин в шести позах как традиционным «ручным» методом, так с использованием 3D сканера *Hamamatsu Photonics* с инфракрасным датчиком,двигающимся по поверхности тела и обеспечивающим высокую плотность 3D изображения всей поверхности тела за одно перемещение. Сравнение результатов электронных и ручных методов антропометрических измерений показало идентичность большинства ключевых параметров и значимые отклонения по характеристикам тела в динамических позах. В качестве проблем респондентами рассматривались вопросы выбора осанки, точности и воспроизводимости измерений, дополнительные неудобства. С другой стороны, отмечена позитивная возможность использовать данные 3D сканирования в компьютерных приложениях для осуществления покупок одежды в виртуальной среде и в онлайн-магазинах [357].

Для индивидуального пошива одежды на заказ в условиях массового производства разработана американская система подгонки примерочных образцов изделий выбранной модели различных размеров на конкретную фигуру. Предлагаемая система позволяет отследить количество, размеры и качество посадки примеряемых образцов одежды, сведения о которых собираются специальным устройством системы на основе ответов клиента. После одобрения клиентом размеров определенного примерочного образца, как подходящего ему для покупки, информация о размерах передается на производство, где изготавливается выбранный предмет одежды (рис. 1.7) [484]. Осуществление подгонки изделий непосредственно на фигуре человека требует участия дополнительных специалистов, проведения процедуры раскроя для единичного изделия, что увеличивает затраты труда при изготовлении изделия для конкретного потребителя.

Компьютеризация процесса сбора информации о размерных характеристиках позволяет ускорить процесс проектирования изделий по

индивидуальному заказу благодаря возможности передачи достоверной информации о фигуре потребителя через интернет.



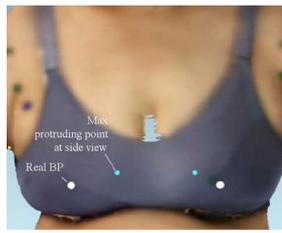
Рисунок 1.7 - Промышленная система для изготовления индивидуальной одежды в условиях массового производства [484]

Южно-корейскими учеными Х. Хан и др. (*Han H. et al., 2010*) предложен алгоритм автоматического определения антропометрических точек для торсов любых форм благодаря разработанной последовательности поиска ориентиров, определяющих особенности широкого диапазона различных конфигураций поверхности фигуры у женщин и мужчин нестандартного телосложения (алгоритм автоматической идентификации особенностей фигуры - *Automatic Landmark Identification /AULID*) (рис.1.8) [377].

Южно-корейскими исследователями К. Ким и др. (*Kim C. et al., 2010*) предложено для обеспечения требуемой соразмерности одежды фигуре конкретного потребителя использовать 3D дигитайзер для получения трехмерных данных измерений тела, что позволяет автоматически генерировать трехмерную базовую конструкцию изделия, соответствующую индивидуальной фигуре, и развернуть ее на плоскости (рис. 1.9) [393]. Такой подход уменьшает время проектирования базовых конструкций и повышает качество посадки изделий, являясь одним из наиболее важных шагов в будущее процесса производства одежды.



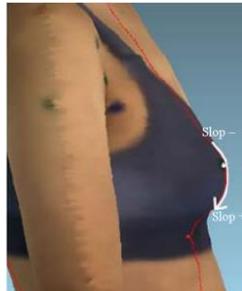
а) Для выступающей точки груди, малый размер, женщины



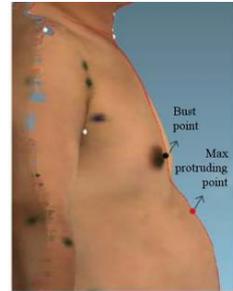
б) Для выступающей точки груди, большой размер



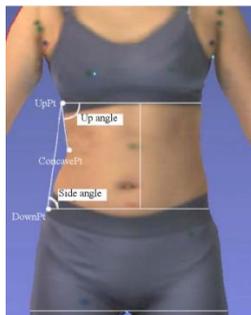
в) Для выступающей точки груди, малый размер, женщины, вид сбоку



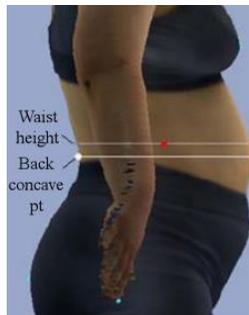
г) Для выступающей точки груди, большой размер



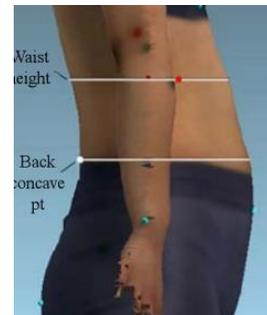
д) Для выступающей точки груди, мужчины, вид сбоку



е) Для линии талии, малый размер, женщины, вид спереди



ж) Для линии талии, большой размер, женщины, вид сбоку



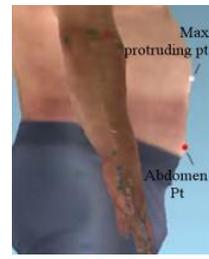
з) Для линии талии, мужчины, вид сбоку



и) Для выступающей точки живота, малый размер, женщины

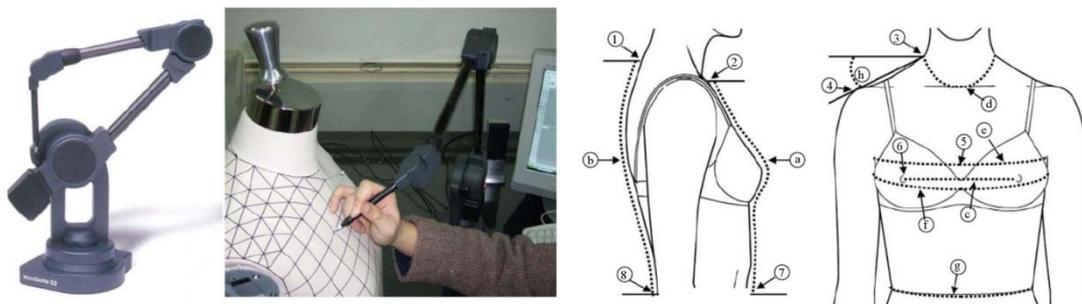


к) Для выступающей точки живота, большой размер



л) Для выступающей точки живота, мужчины

Рисунок 1.8 - Алгоритм автоматического определения антропометрических точек для торсов различной формы [377]



а) 3D дигитайзер, определение размерных характеристик



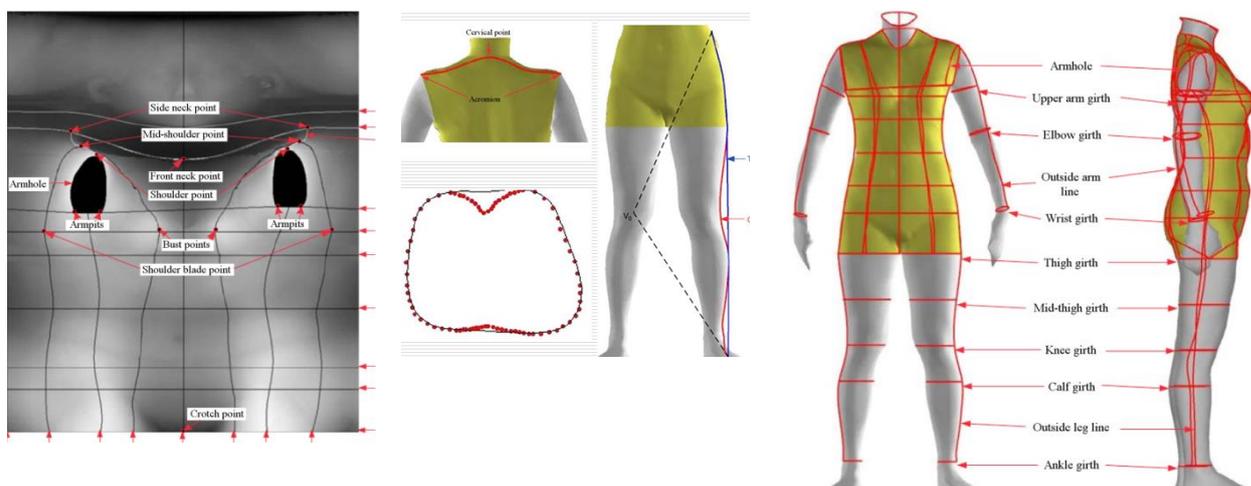
б) Построение 3D модели изделия , конструкция, внешний вид изделия

Рисунок 1.9 – Использование трехмерных измерений фигуры человека для автоматизации построения базовых конструкций одежды [393]

Тайваньскими учеными И.-Ф. Леонгом и др. (*Leong I.-F. et al., 2013*) разработан метод быстрого, надежного и однозначного автоматического определения индивидуальных размерных характеристик фигуры человека с помощью 3D сканирования для использования в швейной промышленности (рис.1.10). Сканируется неподвижная фигура человека в положении «стоя», выделяются обхватные геометрические характеристики (периметры сечений), проекционные параметры и линейные измерения по поверхности изучаемого объекта, потом с помощью компьютерных алгоритмов и математических закономерностей описывается виртуальная 3D модель индивидуальной фигуры, называемая *виртуальным манекеном*, максимально отражающая кривизну поверхности тела человека [399].

Японскими исследователями Ю. Чо (*Y. Cho et al., 2006*) разработана интерактивная технология создания виртуального трехмерного представления фигуры потребителя, то есть *виртуального манекена*, который можно изменить в соответствии с индивидуальными размерными признаками

тела, осанкой [365]. Реальные фигуры людей отличаются от типовых более плоскими или выпирающими формами, большей сутулостью или выпрямленностью спины, что требует более точного проектирования виртуального абриса фигур потребителей, чтобы корректно моделировать форму груди, талии и бедер (рис. 1.11). Реалистичное виртуальное представление фигуры потребителя способствует улучшению качества посадки проектируемой одежды.



Исходная информация -
фотография

Распознавание контуров
фигуры

Построение каркаса трехмерной
виртуальной модели

Рисунок 1.10 – Автоматическое измерение индивидуальных размерных характеристик и создание виртуальной модели фигуры [399]

Проведенный обзор существующих способов измерения характеристик поверхности тела человека свидетельствует о быстрых темпах развития информационных технологий в этой области, о необходимости получения не только традиционных дискретных значений размерных признаков фигуры, но и их трехмерных координат для обеспечения возможности представления трехмерных виртуальных моделей индивидуальных фигур, которые могут быть экспортированы в САПР одежды или иные компьютерные системы. Поэтому автором были систематизированы существующие способы получения информации о пространственной форме поверхности фигуры человека, необходимой для ее отображения в трехмерной виртуальной среде, и представлены в виде классификации (рис. 1.12).

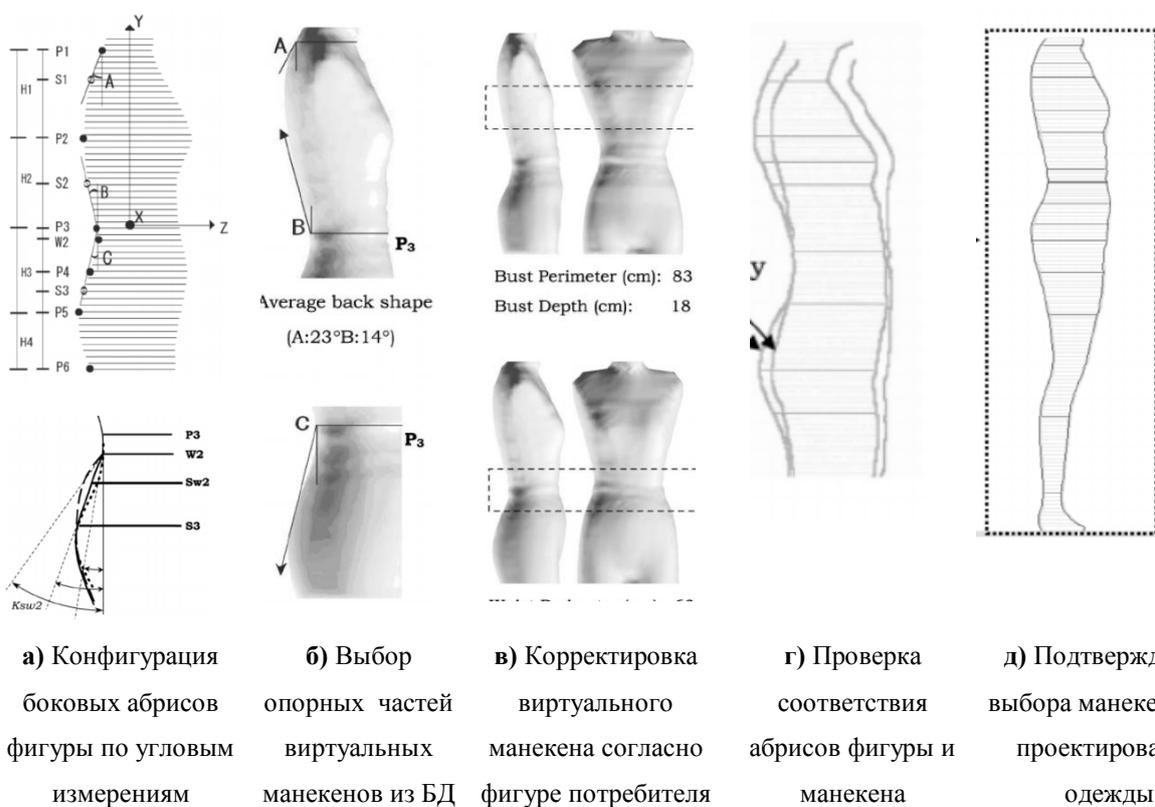


Рисунок 1.11 - Создание виртуального манекена фигуры потребителя с учетом характеристик его осанки[365]

Способы исследования информации о пространственной форме фигуры человека подразделены на три уровня по особенностям получения, обработки и применения данных.

Особенности процесса получения информации о размерных характеристиках поверхностной формы фигуры человека представляют собой: степень специализации способа для получения запланированного результата; вид взаимодействия измерительных элементов с объектом измерений по наличию контакта с измеряемой поверхностью; режим работы по степени доступа пользователя к процессу измерения.

Специализированные способы направлены на получение конкретного результата, а универсальные - предназначены для получения полной информации об антропометрических характеристиках и форме поверхности фигуры потребителя. Контактный способ подразумевает непосредственные измерения размеров тела человека при соприкосновении различных градуированных элементов устройств или приспособлений с поверхностью

измеряемого объекта, бесконтактные способы изучения поверхности не предполагают соприкосновения с ней.

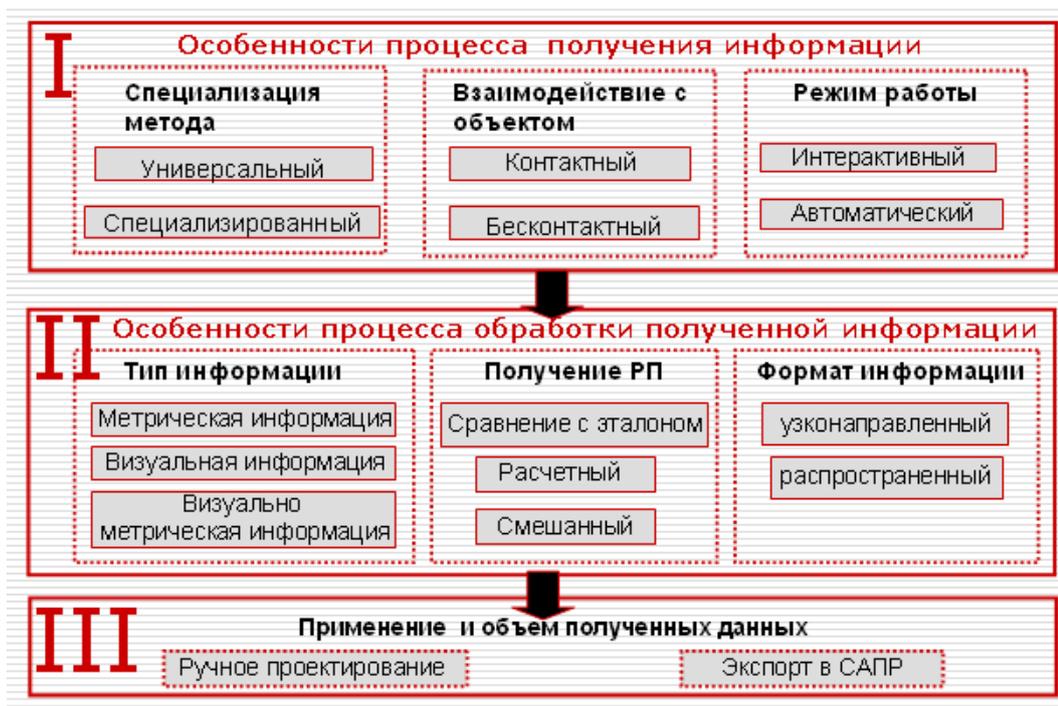


Рисунок 1.12 - Классификационная схема способов исследования характеристик поверхности фигуры человека [266]

Автоматический режим проведения измерений обеспечивает непрерывность процесса и предоставление пользователю полученных результатов в определенной заранее заданной форме, используется в высокопроизводительных измерительных комплексах различных стран, в том числе *HUMAG* (Великобритания), *MIDAscan* (Франция), и в измерительных кабинках 3D-сканирования фигур человека (*TELMAT Industrie*, *Textile/Closing Technology Corporation*, *Cuberwear*, *Human Solutions*) и другие, представленные в *Приложении А* [527-540]. Интерактивные способы проведения измерений поверхности позволяют после первоначальных действий по получению антропометрических характеристик, выбирать вид и расположение требуемых размерных признаков.

Получаемую информацию о пространственной форме поверхности можно подразделить на метрическую, получаемую только контактным способом измерений; визуальную, получаемую такими способами, как

традиционная фотограмметрия; и визуально-метрическую, обеспечивающую наиболее полные и точные данные об исследуемом объекте, включая внешний облик, форму фигуры, взаимосвязь поверхностей одежды, обуви и тела человека.

Учеными университета Сан-Пауло Л. Коста и Дж. Цезарь (*Costa L., Cesar Jr., 2009*) и исследователями университета Генуи Л. де Флориани и М. Спагнуоло (*Floriani L., Spagnuolo M., 2008*) утверждается, что свойства объектов во многом определяются их геометрическими характеристиками, особенностями и структурой формы, механизмом формообразования объекта, так как взаимосвязь элементов, составляющих объект, определяет его функции и особенности, а также влияет на распознавание, визуализацию и проектирование объекта [311, 341].

Механизм проведения измерений может осуществляться путем сравнения значений получаемых размерных признаков с эталоном, преимущественно для контактных измерений; расчетным способом – согласно формулам, описывающим зависимость антропометрических характеристик от оптических свойств оборудования или других признаков; или смешанным способом, применяемым, например, в фотограмметрии и стереофотограмметрии при получении визуального образа объекта, сравнения параметров изображения с эталоном и последующего пропорционального расчета других размерных признаков.

По формату возможного дальнейшего использования информации о фигуре человека процесс ее обработки можно разделить на универсальный, позволяющий экспортировать данные в различные специализированные САПР одежды, или узконаправленный, обеспечивающий ограниченное, заранее известное применение полученных сведений.

Объем полученных данных о пространственной форме поверхности тела человека может оцениваться по наличию или отсутствию тех или иных проекционных, обхватных и дуговых размерных признаков. По характеру применения информация о фигуре может быть разделена на

предназначенную только для ручного проектирования одежды или еще и для автоматизированного экспорта полученных данных в САПР одежды.

Систематизация существующих способов получения информации о пространственной форме поверхности тела человека свидетельствует о целесообразности использования универсального автоматического или интерактивного бесконтактного способа определения размерных характеристик фигуры, основанного на использовании визуально-метрической информации и способного обеспечить:

- ✓ Построение трехмерной (*3D*) модели фигуры человека;
- ✓ определение любых размерных признаков, необходимых для проектирования одежды любого ассортимента;
- ✓ определение дополнительных размерных признаков, определяющих индивидуальные особенности телосложения объектов;
- ✓ высокую скорость измерений и точность определяемых антропометрических данных;
- ✓ сохранение данных в форматах, подходящих для САПР одежды;
- ✓ возможность применения полученных данных для трехмерного (*3D*) проектирования одежды.

Следует отметить, что большинству предъявляемых требований соответствуют существующие системы трехмерного (*3D*) сканирования, рассматриваемые в следующем параграфе.

1.3. Трехмерное сканирование и виртуальное представление фигуры человека в швейной промышленности

На современном этапе развития швейной промышленности большинство производителей используют САПР одежды для осуществления полного цикла проектно-конструкторских работ, одним из этапов которого стало проведение виртуальных примерок проектируемых изделий, позволяющих не отшивать образцы изделий для оценки качества посадки. В связи с этим особую актуальность приобретает задача получения

характеристик поверхности тела человека, достаточных для достоверного отображения фигуры в виртуальной *3D* среде в виде «*виртуального манекена*», на котором могут «примеряться» разрабатываемые изделия. Виртуальные манекены классифицируют по следующим типам: статичные, динамичные и стилизованные. Статичные виртуальные манекены подразделяют на корпусные и обладающие конечностями [183]. У динамичных манекенов корпусу и конечностям фигур можно задать какое-либо движение, например, сгибание руки или ноги, наклон и т.д. Стилизованные манекены применяются для создания художественного виртуального образа проектируемого изделия.

Традиционно исходными данными для задания поверхности фигуры потребителя и последующего проектирования одежды для него служит систематизированный массив информации об антропометрических характеристиках поверхности тела человека, представленный в существующих классификациях типовых и нетиповых фигур в государственных и отраслевых стандартах, исследовательских работах или полученный с помощью различных измерительных устройств. Хотя стандартный набор размерных признаков позволяет обеспечить необходимые для проектирования одежды сведения о фигуре человека, но он недостаточно отображает особенности пространственной формы поверхности тела, чтобы представить ее в виртуальной среде. В связи с этим для определения любых антропометрических точек, линий или сечений в трехмерной системе координат используются специальные методы и устройства, и прежде всего системы трехмерного (*3D*) сканирования [340].

Благодаря развитию цифровых технологий и компьютерной техники современные измерительные системы имеют возможность оперативно обрабатывать значительное количество информации, и поэтому предназначены для автоматического распознавания объектов произвольной формы, определения координат различных точек поверхности и контроля ее внешнего вида [337]. Как правило, система *3D* сканирования содержит

аппаратные и программные средства и включает в себя следующие элементы:

- ✓ оборудование для бесконтактного получения информации о форме поверхности объекта, в том числе разные типы считывающих устройств;
- ✓ устройство для обработки полученной информации (компьютер);
- ✓ оборудование, с помощью которого осуществляется фиксирование данных о поверхности и контроль проведения измерений, а также подается сигнал для принятия оперативных мер при отклонении от заданного хода процесса;
- ✓ программное обеспечение, позволяющее осуществлять предварительную обработку данных о поверхности измеряемого объекта и обеспечивать последующее управляющее воздействие для экспорта информации в выбранную САПР одежды.

В настоящее время в швейной промышленности активно применяются более 16 видов систем трехмерного (*3D*) сканирования разного уровня обработки и преобразования информации об исследуемой поверхности измеряемых объектов (табл. А1, *Приложения А*), которые используются для:

- определения размерных признаков фигуры человека в автоматическом или интерактивном режиме;
- создания виртуальных *3D* моделей измеряемого объекта, а также получения выбранных сечений или кривых на его поверхности;
- создания виртуальных *3D* художественных или технических эскизов проектируемых изделий на заданной фигуре.

По способу использования в автоматизированном швейном производстве системы *3D* сканирования могут быть разделены на:

- встраиваемые в технологическое оборудование;
- размещаемые стационарно в качестве измерительных станций рядом с рабочим местом конструктора;

- размещаемые удаленно в центре приема заказов, когда информация о размерных признаках индивидуальной фигуры может быть экспортирована в систему САПР через Интернет.

Основное назначение систем *3D* сканирования – это получение исходной информации о пространственной форме поверхности объекта и его размерных характеристиках. В настоящее время для ввода или считывания информации используются внешние специализированные устройства следующих видов: ультразвуковые, лазерные, электромагнитные, механические, оптические.

✓ *Ультразвуковые* (или сонарные) считывающие устройства являются наименее точными и надежными, но при этом и самыми чувствительными к окружающему пространству, применяются в основном в медицине и при оцифровке скульптур. Передатчики излучают звуковые волны, на основе информации об отражении которых, вычисляются координаты точек поверхности трехмерного объекта. В качестве недостатка данных систем можно отметить восприимчивость к шуму, производимому различным оборудованием (компьютерами, кондиционерами). В идеальных условиях абсолютная погрешность результатов составляет 1,4 мм.

✓ *Электромагнитные* устройства работают по «принципу радара», используемому ультразвуковыми системами, только для построения пространственной модели объекта вместо звуковых волн используются электромагнитные. Результат работы этих считывающих устройств не зависит от погодных условий, но находящиеся поблизости металлические предметы или источники магнитного поля снижают точность измерений. Естественно, что подобные системы не могут оцифровывать металлические объекты. Даже в специальных помещениях, не содержащих ничего металлического, погрешность магнитных систем составляет не менее 0,7 мм.

✓ *Лазерные* устройства обладают самой высокой точностью и работают в автоматическом режиме, но область их применения значительно ограничена. Технология лазерного сканирования развивается по трем основным

направлениям: сканирование поверхности объекта по зонам, точкам и полосам. На объект проецируется специальная сетка или полоса, и по ее искажениям определяется контур сканируемой поверхности. Трудности для прямого прохождения лазерного пучка вызывает сканирование объектов с зеркальными, прозрачными и полупрозрачными поверхностями, а также предметов большого размера, имеющих впадины или выступы. Хотя процесс оцифровки происходит достаточно быстро, но последующее преобразование автоматически полученных данных в трехмерное виртуальное изображение объекта может занять много времени (особенно для систем с точечной проекцией).

✓ *Механические* считывающие устройства осуществляют обведение контуров измеряемого объекта прецизионным щупом, положение которого фиксируется механическими датчиками. На основе массива полученных трёхмерных координат точек поверхности выполняется построение каркасной модели объекта с помощью специального программного обеспечения. Достоинством механических сканеров является независимость результатов от погодных условий, уровня шума, наличия электромагнитных полей, типа поверхности. Недостатком механических дигитайзеров является применение ручного труда, повышенные требования к координации движений и внимательности оператора.

✓ *Оптические* считывающие устройства оперируют только визуальной информацией и требуют применения коэффициентов масштабирования для расчета координат точек поверхности, учета оптических свойств используемой аппаратуры, соблюдения специальных требований к процессу измерений. К оптическим считывающим устройствам можно отнести все виды существующих фото и видеокамер.

В таблице А1 *Приложения А* приведен перечень передовых систем 3D сканирования, применяемых в швейной промышленности, с описанием особенностей проведения процесса измерения и отображения поверхности.

Проведенный анализ технического уровня систем сканирования позволяет классифицировать системы трехмерного сканирования следующим образом (рис. 1.13): системы, в основу которых положена метрическая информация, получаемая с помощью лазерных, электромагнитных, ультразвуковых и некоторых оптических устройств; системы сканирования, основанные на визуальной информации, получаемой с помощью разнообразных оптических считывающих устройств [527-540].

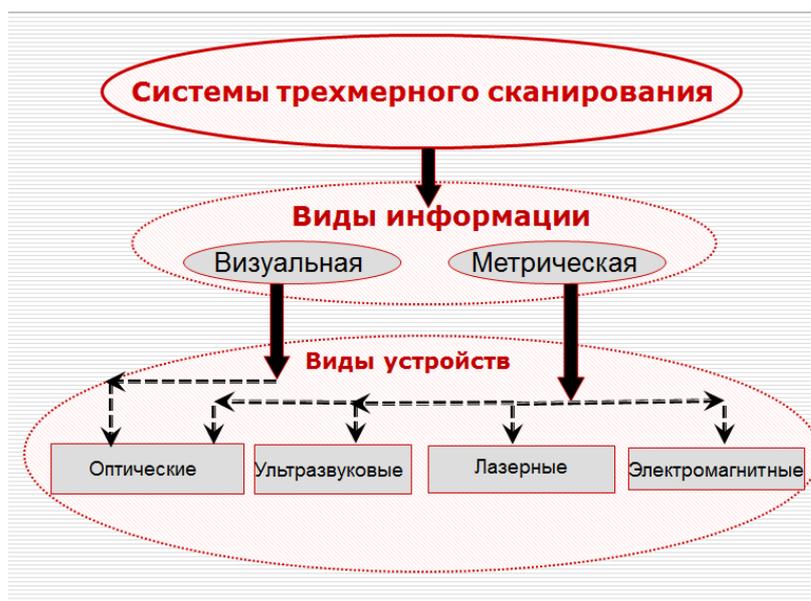


Рисунок 1.13 - Виды информации и считывающих устройств, применяемых в системах трехмерного сканирования

Для виртуального моделирования и визуализации внешней формы исследуемых объектов требуется определенная организация и преобразование информации, полученной сканированием поверхностей в трехмерной системе координат. Так, для 3D моделирования поверхности тела человека, находящегося в естественном положении или движении, специалистами Национального Исследовательского Совета Канады (*Wuhrer S., et al., 2011*) предложен подход «свободных ориентиров» (*landmark-free approach*), обеспечивающий определение точного соответствия между точками на поверхности исследуемых человеческих фигур. Этот метод предназначен для автоматического прогнозирования места расположения каждой точки 3D модели фигуры человека, выбранной из массива данных сканирования поверхности тела, благодаря систематизированной

информации о расположении антропометрических ориентиров в базе данных 3D моделей человека в разнообразных позах [457].

В таблице 1.1 приведен сравнительный обзор существующих систем трехмерного сканирования, разделенных на три группы в зависимости от метода измерений. Указаны особенности проведения измерений, время сканирования, приведены недостатки систем.

Таблица 1.1 - Обзор современных систем трехмерного сканирования

Наименование характеристики	Лазерное сканирование	Сканирование с использованием белого света	Сканирование со стереофото- и видеосъемкой
Общий обзор	Проекция меток (точек, линий, полос) на объект	Покрытие измеряемого объекта метками белого света	Две или более камеры без дополнительных осветительных устройств
Виды используемой информации	Визуально-метрическая, дифференциальная (набор сечений)	Визуально-метрическая, дифференциально-интегральная (набор сечений + фиксация участка поверхности)	Визуальная интегральная (фиксация участка поверхности)
Ключевые недостатки	1. В 10 раз медленнее, чем с использованием белого света 2. Плохо подходит для динамических объектов, таких как человек или животные	1. Необходимо затемнение, так как сканирование основано на яркой подсветке измеряемого объекта 2. Стоимость проектора выше, чем лазеров. 3. Идеально для объектов среднего размера.	1. Процесс сканирования может быть трудоемким. 2. Требуется большое количество камер или многократной съемки объекта с разных углов.
Достоинства	1. Возможно сканирование очень маленьких объектов 2. Применяется и при неравномерном освещении 3. Легкая калибровка устройств	1. Возможна быстрая обработка более 1 млн. точек 2. Предпочтителен для сканирования фигуры человека, так как безопасен для глаз	1. Не требует применения специализированных проекторов для подсветки и нанесения световых меток на объекты 2. Высокое качество сканирования средних и больших объектов

Продолжение табл. 1.1

Скорость сканирования	Довольно медленно, требуется от 15 сек. до 1 мин.	Очень быстро, от 1 миллисекунды до 15 сек.	Очень быстро, но время обработки может быть длительным.
Точность определения точек	Высокая	Высокая	Высокая, но с участием оператора. Автоматические системы имеют погрешность
Плотность точек	Высокая, зависит от времени сканирования	Высокая, зависит от количества линий подсветки	Высокая, зависит от разрешения камер
Уровень шума	Низкий	Средний	Средний
Размер объекта сканирования	Малые, средние и большие объекты	Большие и средние объекты	Объекты любых размеров

Одним из основных назначений систем *3D* сканирования является проведение антропометрических обследований населения, результаты которых позволяют получить информацию о размерных характеристиках и особенностях телосложения фигур жителей различных регионов, что особенно важно для повышения удовлетворенности потребителей изделиями швейной промышленности (см. рис. 1.1 и 1.2).

В этом направлении можно отметить обширные антропометрические обследования армии США, для проведения которых учеными Аризонского государственного университета (*Yin X., et al., 2009*) была разработана автоматизированная «Система расширенной антропометрической оценки» (*Enhanced anthropometric rating system/ EARS*), базирующаяся на *3D* сканировании. Система позволяет выявлять, классифицировать и ранжировать особенности поверхности тела человека в реальном времени. Для получения заключения о фигуре исследуемого субъекта согласно поставленному запросу можно определить шероховатость сканируемой поверхности, место положения выступающих точек, площадь выбранных сегментов поверхности. Благодаря геометрической сетке поверхности,

содержащей более 100 000 вершин и более 300 000 граней, можно определить расположение любых складок одежды на фигуре [464].

Антропометрическому обследованию азиатских женщин в возрасте от 18 до 60 лет посвящены исследования тайваньских ученых (*Leong I.-F., et al., 2007*), усовершенствовавших способы интерпретации данных о поверхности тела человека, полученных 3D сканированием [400].

Результаты исследований, проведенных в Государственных университетах Айовы и Канзаса (*Lee Y.-A., et al., 2012*), свидетельствуют о существующей в обществе потребности более широкого применения технологий 3D сканирования тела. При изучении удовлетворенности пожилых женщин на среднем западе США существующим ассортиментом одежды установлено, что наиболее важным фактором в принятии решения о покупке было качество посадки и соразмерность изделий, а наибольшие трудности были связаны с поисками одежды, которая соответствовала форме тела и стилю, отражающему старение организма. Участники фокус-групп потребителей старшего возраста выразили заинтересованность в использовании метода 3D сканирования тела и специальных программных приложений для подбора одежды, подходящей по стилю и размерам [398].

Анализ опыта применения в швейной промышленности систем 3D сканирования человеческих фигур, проведенный в Корнуэльском университете С. Локером и др. (*Loker S., et al., 2004*), показал целесообразность использования программных приложений с 3D моделями индивидуальных фигур для виртуальных примерок и визуализации одежды как потребителями, так и производителями, и торговыми предприятиями. Более 90% респондентов высоко оценили полезность бодисканирования для онлайн-покупок одежды и положительно отреагировали на просмотр видеофайлов с данными сканирования, однако некоторые неудобства от взаимодействия с незнакомой технологией персонализации были отмечены в группе высоко обеспеченных замужних женщин [404].

В качестве перспектив применения бодисканеров в отечественной швейной промышленности проф. В.Е. Кузьмичевым рассмотрены возможности как получения основных антропометрических характеристик фигур, так и производства шаблонов чертежей конструкции изделий, разработки программного обеспечения для измерительно-проектных комплексов «бодисканер + САПР» [79].

На основе анализа результатов современных исследований можно сделать вывод об актуальности применения в швейной промышленности современных систем 3D сканирования тела человека для проведения антропометрических обследований населения, измерения фигур потребителей, визуализации моделей, проектирования одежды и проведения виртуальных примерок готовых изделий на заданных фигурах с использованием современного доступного оборудования и программных приложений.

Одной из основных проблем 3D сканирования человеческого тела является преобразование неорганизованного облака точек, получаемого в результате считывания информации об исследуемой поверхности, в цифровую 3D модель внешней формы объекта. Уже в 1995 г. британскими учеными из Университета Лафборо (*Jones P.R.M., et al., 1995*) стандартизирован формат данных, полученных с помощью 3D сканирования тела человека и предназначенных для описания и интерполяции 3D модели фигуры. Данные о поверхности тела человека представлялись в виде серии горизонтальных сечений, каждое из которых описывалось 16-ю точками, а 3D модель поверхности формировалась путем интерполяции кривых между ними. Горизонтальные сечения тела были выбраны для того, чтобы соответствовать конкретным анатомическим ориентирам на поверхности, а не иллюстрировать расстояния от выбранной точки отсчета. Стандартный формат данных 3D сканирования поверхности не зависел от особенностей фигур и размеров, что позволило сравнивать 3D модели фигур и экспортировать данные в САПР одежды [388].

Для решения проблемы аппроксимации поверхности из массива неорганизованных данных, полученных в результате сканирования, американскими учеными из Университета Южной Флориды (*Piegl L.A., Tiller W.*, 2000) применялись *B*-сплайны, обеспечивающие параметризацию поверхности объекта [427]. Для *3D* моделирования фигуры человека, предназначенной для виртуальных примерок одежды, проводилась реорганизация массива данных *3D* сканирования путем аппроксимации каждого из цилиндрических сегментов поверхности алгоритмом кубических *B*-сплайнов с помощью методов триангуляции Делоне и линейной интерполяции, что обеспечило получение равномерной плотности данных о поверхности фигуры (*Xu B., et al.*, 2003. II). Затем отдельные *B*-сплайновые поверхности интегрировались в одну *3D* модель, что позволило американским разработчикам значительно снизить объем данных, необходимых для реконструкции поверхности [460].

Учеными Дрезденского университета Э. Хлаингом, С. Кржвински и Х. Роэделом (*Hlaing E.C. et al.*, 2013) предложен способ генерации параметрических виртуальных манекенов нижней части женского тела немецких женщин, отличающихся достоверностью внешней формы (рис. 1.16) [381]. Исходными данными для формирования базы данных виртуальных манекенов женских бедер и ног различной формы стали результаты *3D* сканирования женских фигур, имеющих различные типы телосложения (рис. 1.14).

Дальнейшее *3D* моделирование внешней формы женской фигуры осуществлялось с помощью сплайнов на основе выбранного из базы данных виртуального манекена, в большей степени подходящего заданному образу по размерам и форме (рис. 1.15) [381].

Для виртуальной реконструкции формы тела человека из неорганизованных данных сканирования, представленных в виде расстояний до исследуемой поверхности, в Калифорнийском университете (*Zhao H.-K., et al.*, 2000) разработан метод отображения топологии поверхности с помощью

алгоритма вариации и вычисления дифференциальных уравнений с частными производными (*partial differential equation/PDE*). При этом использовался подход естественного масштабирования для нелинейного регулирования, чтобы обеспечить гибкость и минимизацию колебаний расположения точек поверхности.

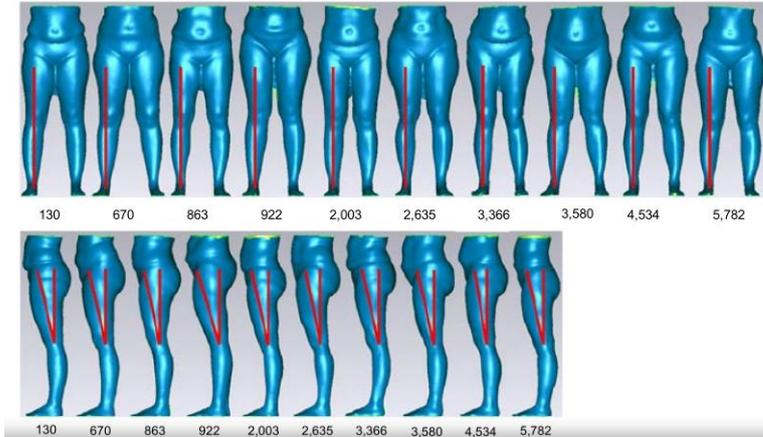


Рисунок 1.14 – Формирование базы данных виртуальных манекенов бедер и ног немецких женщин [381]

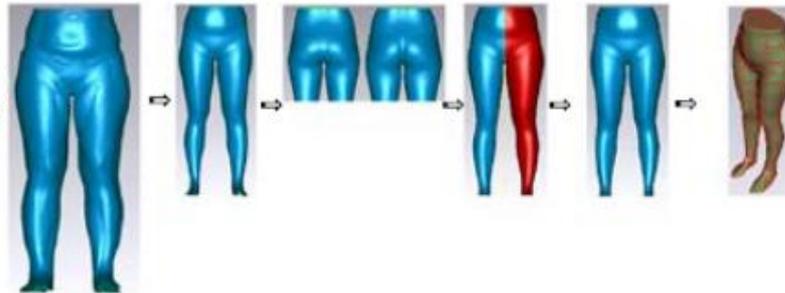


Рисунок 1.15 – Построение сплайновой модели манекена нижней части тела на основе 3D модели подходящего размера и формы из базы данных [381]

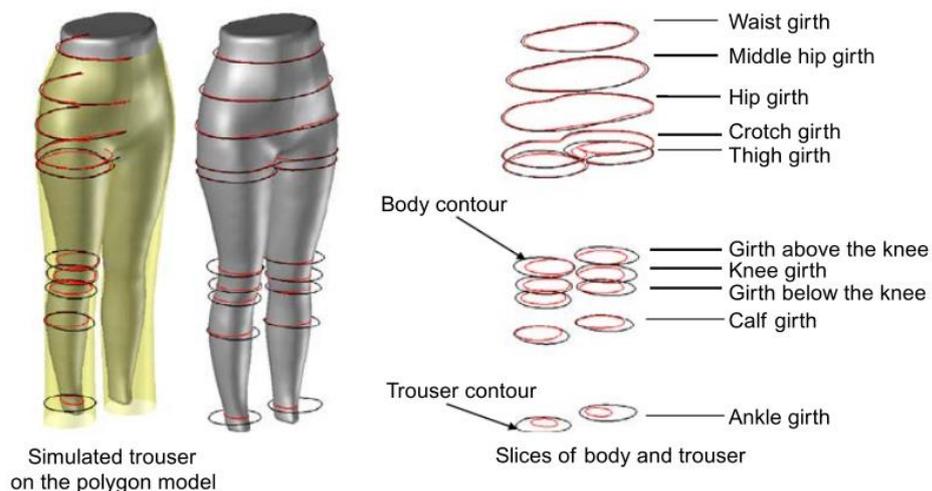


Рисунок 1.16 – Генерация параметрической модели манекена [381]

Окончательная форма виртуального объекта зависит от деформации первоначальной поверхности путем неявного представления поверхности на прямоугольной сетке с помощью метода функции уровня (*level set method*). Такой подход позволяет моделировать более сглаженную форму виртуальной поверхности из значительно неоднородных данных, чем при кусочно-линейной реконструкции объектов [467].

Немецкими учеными (*Nüchter A., et al., 2010*) предложено решение проблемы корректной регистрации данных *3D* сканирования, то есть ввода и согласования данных в общей системе координат, с помощью алгоритма итерации ближайших точек (*iterative closest point/ ICP*), обеспечивающего стандартное геометрическое выравнивание *3D* моделей благодаря минимизации функции ошибок (*error function*) и определению соответствия точек месту на поверхности исследуемого объекта. Общая система координат использует одно или несколько чисел, чтобы однозначно определить положение точки в пространстве, что обеспечивает взаимосвязь задач геометрии (пространственных структур) и алгебры (чисел) [418].

Исследователем Китайского университета Гонконга Ч. Ванга (*Wang C.C.L., 2005*) предложен метод параметризации неорганизованного облака точек, полученного в результате *3D* лазерного сканирования человеческого тела, для проектирования виртуальной *3D* модели фигуры. Программирование базировалось на создании каркасного отображения фигуры по данным сканирования и моделировании формы сплошной сетки поверхности с помощью метода плавной интерполяции нерегулярных кривых Грэгори (*Gregory patches*) и алгоритма преобразования *вокселей* (*voxel*), то есть наименьших трехмерных элементов объемной поверхности, несущих содержательную информацию, в гладкую непрерывную симметричную поверхность. Параметрический подход к проектированию виртуальных манекенов фигур человека направлен на оптимизацию подбора подходящих виртуальных фигур для автоматизированного проектирования

одежды на индивидуальные фигуры, производимой в условиях массового производства, и реализацию концепции *массовой кастомизации* [452, 455].

С другой стороны, британские ученые (*Chen Y., Cipolla R., 2011*) из Кембриджского университета рекомендуют отказаться от методов параметризации при автоматической реконструкции *3D* моделей человеческого тела. Для создания персональных виртуальных манекенов ими предложено использовать гауссовские графовые модели с латентными переменными (*Gaussian Process Latent Variable Model/ GPLVM*), опираться на одно или несколько сечений фигуры и базу данных виртуальных манекенов фигур [362].

Можно отметить разнообразие и уникальность аналитических подходов к решению проблемы аппроксимации поверхности из массива неорганизованных данных, получаемых в результате *3D* сканирования.

Другим аспектом методологии *3D* сканирования является выбор оборудования, считывающего информацию о топологии поверхности объекта. Так, в Швейцарском федеральном институте технологий в Цюрихе (*Remondino F., 2004*) решена проблема создания реалистичных *3D* моделей неподвижных человеческих фигур из последовательности неградуированных изображений для проектирования одежды. Ученым критиковался подход к реконструкции формы человеческого тела с помощью лазерных сканеров из-за высоких затрат. Ф. Ремондино предложил метод *3D* реконструкции формы тела человека путем калибровки и ориентации изображений, полученных с помощью фотограмметрии, и дальнейшего определения соответствующих участков поверхности с помощью алгоритма сопоставления наименьших квадратов [431].

В 1994 г. А. Лаурентини (*A. Laurentini*) была предложена технология трехмерной реконструкции актуальной объемной формы пространственного объекта, названного «*visual hull*» путем последовательного объединения силуэтов, как *2D* проекций соответствующего *3D* объекта, называемая «*shape-from-silhouette/SFS*» [395]. В качестве альтернативы дорогостоящей

технологии 3D сканирования китайскими исследователями Ю. Ли и Я. Чэнь из Шанхайского университета Дунхуа (*Li J., Chen J., 2009*) предложен метод 3D моделирования индивидуального виртуального манекена (*personalized virtual human mannequin*) с помощью выбора подходящих частей 3D модели из базы данных и их модификации в соответствии с вертикальными сечениями фигуры потребителя, а именно фронтальным и боковым силуэтом из фотоизображений человека [401].

Д.Хирано, Ю. Фунаяма и Т. Маекава из Национального университета Йокогамы (*Hirano D., et al., 2009*) предложили метод 3D моделирования объекта по его нескольким 2D фотоизображениям, сделанным из разных точек обзора и обработанным с помощью программного обеспечения. Таким образом, для 3D моделирования фигуры также используется метод «проектирования формы-из-силуэта» (*SFS*) на основе создания *вокселей* (наименьших содержательных элементов 3D поверхности), а затем «вырезания» вогнутой формы. Чтобы обеспечить совместимость полученной 3D модели с САПР одежды следует преобразовать полигональную сетку изоповерхности трехмерного скалярного поля (чаще называемую сеткой вокселей) с помощью алгоритма «шагающих кубиков» (*Marching Cubes*) в триангуляционную сетку, поверхность которой корректируется с помощью фотоизображений силуэтов, т.е. сечений фигуры [380]. Данный подход получения 3D модели объекта из его силуэтов (*Shape-from-Silhouette/ Sfs*) критикуется в работе испанских ученых Л. Диаз-Мас и др. из университета Кордобы (*Díaz-Más L., et al., 2012*) из-за негативного влияния фона реальной окружающей среды на достоверность силуэтов измеряемого объекта и точность результатов. Для решения проблемы адаптации некорректных силуэтов (*Sfs*) учеными предложен метод, основанный на применении октадерава, то есть обеспечении рекурсивного деления трёхмерного пространства, содержащего измеряемые объекты, на восемь частей с формированием сетки 8 x 8, и последовательного анализа сверху вниз, а также на использовании теории Демпстера-Шейфера (*Dempster-Shafer*

theory) и функции Баттеруэрт (*Butterworth function*), позволяющих не только исключить фон реальной среды, но и на порядок сократить время вычислений [372].

В 2012 г. в университете Барселоны вопросами автоматического распознавания внешней формы фигуры человека занималась Г. Харо (*Haro G.*, 2012), которая реализовала алгоритм «*shape-from-silhouette*» визуализации трехмерной модели тела человека из его фотоизображений, получаемых от 12-ти камер и совмещенных друг с другом, для изучения динамических поз человека (рис. 1.17) [378]. Следует отметить, что автором диссертации данный алгоритм был реализован в рамках выполнения НИОКР уже в 2010 г. [120].

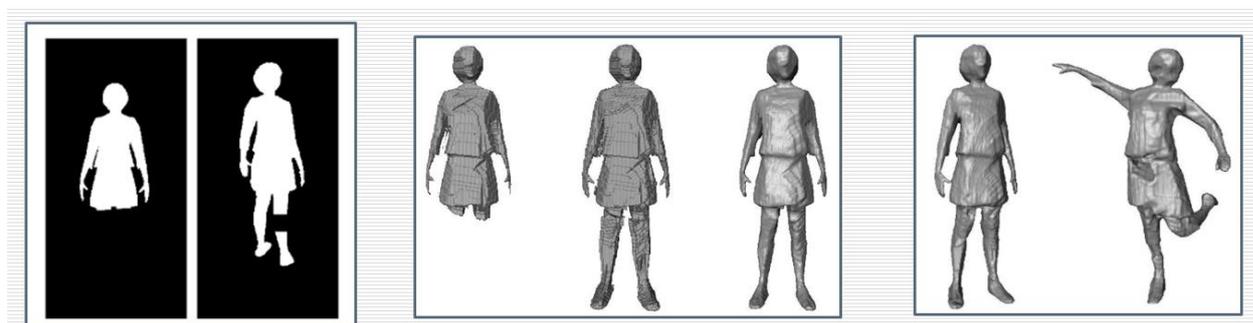


Рисунок 1.17 – 3D-визуализация фигуры человека по 2D-изображениям силуэтов [378]

В направлении внедрения концепции *массовой кастомизации* в швейной промышленности учеными Института текстиля и одежды Гонконгского политехнического университета Ш. Чжу и др. (*Zhu S., et al.*, 2013) предложен метод интеллектуального 3D моделирования человеческого тела, на основе представленных заказчиком ортогональных фотографий. Для описания геометрических характеристик формы человеческого тела предложена многоуровневая структура представления данных с выделением кривых поверхности, определяющих размер одежды, и определена функциональная зависимость между 2D размерными признаками и 3D формой каждого сечения по отсканированным данным реальных субъектов. Авторами утверждается, что данный подход позволяет прогнозировать 3D форму фигуры заказчика по особенностям телосложения, представленным на

фотографиях, обеспечить точность результатов, сопоставимую с технологией сканирования [469].

В качестве исходной информации для виртуального представления фигуры учеными Бэйхангского университета в Пекине (*Chen X., et al., 2013*) предложено использовать одно фотоизображение одетого человека, которое с помощью закодированных параметров оцифровывается путем нежесткой деформации поверхности исходной универсальной виртуальной модели. Пользователем фактически задаются *2D* суставы и контуры лица, позволяющие осуществить оптимизацию параметров *3D* модели, итеративно деформируемой в различных позах, в разнообразной одежде или без нее [361].

Британскими учеными (*Starck J., Hilton A., 2008*) разработан способ *3D* реконструкции высоко реалистичных анимированных цифровых моделей человека на основе видеоизображения конкретных субъектов [442]. Для повышения правдоподобия (*likelihood function*) *3D* моделей фигуры человека голландскими учеными (*Hofmann M., Gavrilu D.M., 2011*) предложен адаптационный подход, основанный на выделении наиболее информативных фотоизображений и их последующей оптимизации с помощью целевой функции для формы и текстуры поверхности, чтобы преобразовать первоначальную форму виртуальной модели фигуры человека с учетом его позы [382].

В то же время лазерное сканирование объектов (*laser scanning*) остается достаточно популярным благодаря быстрой оцифровке (*digitization*) формы предметов. Оно основано на анализе отклонений контролируемых видимых или невидимых лазерных лучей и на последующем измерении расстояний по каждому направлению. Для многомерного виртуального представления пространственных форм объектов американскими учеными Государственного университета Райта в Дейтоне (*Zagorchev L., Goshtasby A., 2006*) разработан ручной лазерный сканер, действующий в системе координат объекта и позволяющий автоматически интегрировать

изображения, снятые с разных точек зрения [446]. Для повышения практичности лазерного сканирования за счет скорости, стоимости, компактности и других эксплуатационных требований учеными Техасского университета в Остине Б. Су и Ю. Хуаном, У. Ю, Т. Чэнем, Ю. Чжунюном (Хи В., Huang Y., 2003.) модифицированы поворотным корпусом и структурой лазерных полос сканера [458].

Кроме того, важно подчеркнуть существование проблемы координации и возможности слияния баз данных, собранных с помощью различных инструментов (Tan K.T.W., et al., 2003). Поэтому особую значимость приобретает программное обеспечение для инженерных сканеров тела (EBS), объединяющее процесс физического измерения объектов, последующего хранения данных и их совместной визуализации [445].

Другим важным аспектом современной методологии 3D сканирования является реалистичное виртуальное представление особенностей структуры и текстуры поверхности исследуемого пространственного объекта.

Для автоматизированного проектирования эргономичной одежды китайскими учеными из университетов Шанхая (Ma Y.-Y., et al., 2004) предложен метод виртуального моделирования и анимации реальных человеческих фигур из данных, полученных сканированием поверхности тела, в режиме реального времени в виртуальной окружающей среде. 3D модель фигуры человека представлена триангуляционной сеткой (*triangular mesh*) и описана как многослойная геометрическая модель (*layered geometric model*), состоящая из анимированного «скелета», автоматически генерируемого из данных сканирования поверхности с помощью функции извлечения (*feature extraction*), и упрощенной модели формы поверхности и текстуры кожи, обволакивающей скелет в режиме «от точки к линии» (*a point-to-line mapping*) [406].

Индийскими учеными Ю. Пайзом, А. Браттом и Р. Сривастова предложен метод точного конечно-элементного моделирования биомеханического поведения биологических объектов и генерирования

поверхности тела человека путем создания полигональной сетки, отражающей материальные свойства каждого элемента с использованием В-сплайнов (*Pise U.V., et al., 2012*). Преимущество этого метода заключается в возможности за один шаг выполнить моделирование фигуры человека, создать полигональную сетку и реалистично представить поведение материала в $2D$ и $3D$ среде с хорошим качеством отражения внешней формы, описания геометрии и текстуры поверхности [428].

Для изучения и обработки $3D$ данных об объемном объекте учеными Университета штата Нью-Йорк в Стоуни-Брук (*Zhao X., et al., 2012*) предложен способ трехмерного визуального анализа анатомических и биологических структур с помощью метода $2D$ и $3D$ наименьших квадратов, техники деформации текстуры поверхности, визуализации различных стилей и интерактивных манипуляций, что представляет большой интерес для различных приложений. Предложенный алгоритм позволяет использовать многомерную информацию о текстуре, визуализировать, выбирать и извлекать интересующие объекты из различных массивов $3D$ данных, интерактивно или автоматически генерировать $3D$ контрольные точки деформируемой поверхности [468].

Возможность отображения структуры поверхности виртуальных фигур типового и нетипового телосложения легла в основу метода оперативного создания широкого спектра недорогих материальных манекенов для примерки образцов одежды в производственных условиях. Разработка исследователей Департамента швейной промышленности Университета Айовы и Сеульского университета (*Park S.M. et al., 2011*) базировалась на первоначальном $3D$ сканировании различных человеческих фигур (рис. 1.18, а) и последующем построении каркасных моделей, содержащих сечения фигуры во взаимно перпендикулярных плоскостях и совокупность множества криволинейных четырехугольников (рис.1.18 б). Для фигур индивидуальных заказчиков можно создавать единичные манекены, а для типовых фигур – усредненные по базовому размероросту.

Каркасные модели интерактивно конвертировались в 3D виртуальный манекен фигуры путем свободной деформации поверхности с высоким уровнем детализации (рис. 1.18, с). Для получения физического макета виртуальной 3D модели фигуры использовалась технология быстрого прототипирования (*Rapid prototyping*), а затем образец манекена заданной фигуры изготавливался методом литья из полиуретановых материалов. Для реалистичности представления поверхности манекена, кожа тела может быть имитирована специальными мягкими материалами [424].

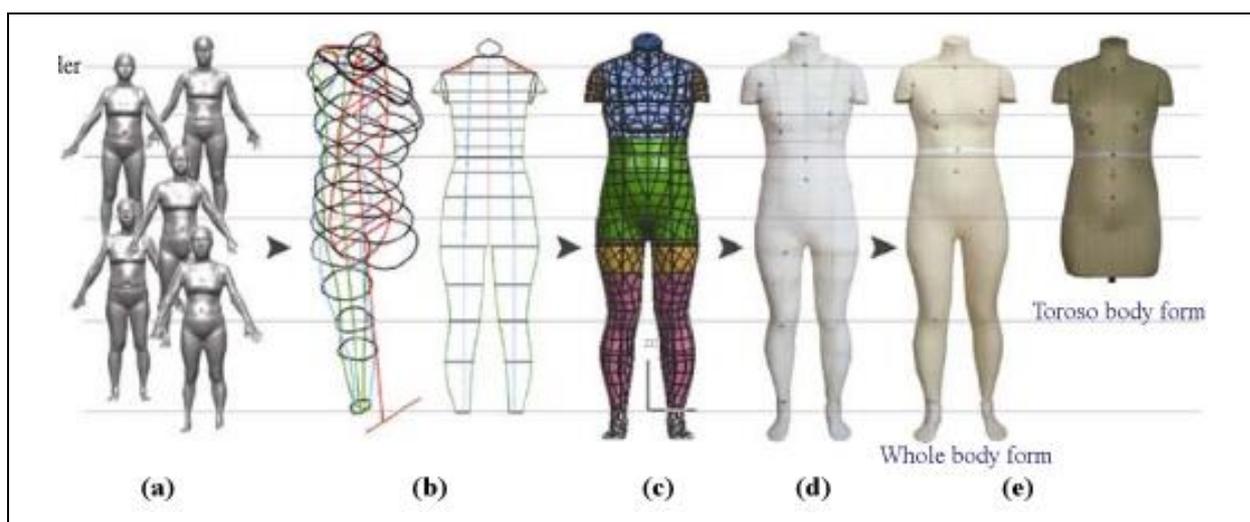


Рисунок 1.18 – Метод проектирования материального манекена фигуры человека на основе 3D-сканирования: а - группа измеренных фигур; б-каркас трехмерной модели фигуры; с - виртуальная модель фигуры; д -поверхностная модель для прототипирования; е - изготовленный типовой манекен фигуры человека [424]

Реалистичность виртуального отображения фигуры человека зависит от достоверности анатомического представления 3D модели и возможности ее динамической трансформации. В этом направлении следует отметить ряд современных исследований.

Швейцарскими учеными (*Aubel A., Thalmann D., 2004*) рассмотрен многоуровневый подход виртуального моделирования человеческого организма и его деформации, базирующийся на трех основных анатомических структурах: скелете, мышцах и коже [354]. Для виртуального отображения человеческого тела Е.Ли и А. Джонейя из Гонконгского университета науки и технологии (*Lee J.Y.-C., Joneja A., 2014*) разработали

параметрические биомеханические 3D модели на основе очертаний скелета из взаимосвязанных костей, поверхность которых моделируется сеткой и отличается свободной деформацией формы (*FFD*), но не имитирует реальную анатомию или физические процессы. Преимуществом данной модели (*3D skeletal model*) является простота отображения изменений формы тела или движений, а недостатком – недостаточная точность представления человеческих фигур, так как их форма и поверхности могут гибко меняться без привязки к конкретным антропометрическим ориентирам и особенностям индивидуальных фигур [396]. Исследователями Корейского института передовой науки и технологии и Женевского университета (*Oh S., et al., 2005*) предложен метод виртуального объединения человеческих фигур и одежды с помощью специальной техники компьютерной анимации органических объектов, моделируемых из сетки поверхности и набора взаимосвязанных костей, так называемого «скелета». Для создания единой виртуальной модели человека в одежде координируются сетки их поверхностей, значительно отличающихся по топологии, определяются соответствия между участками тела человека и материалом костюма, затем осуществляется оптимизация путем первоначальной подгонки анимированной фигуры под одежду и последующей подгонки виртуальной одежды на теле [420].

Новозеландскими учеными из Университета Окленда (*Oberhofer K., et al., 2009*) предложен метод корректного виртуального моделирования опорно-двигательного аппарата движущегося человека на основе свободной деформации поверхности (*Host Mesh Fitting technique/ HMF*), называемый «техникой примерки базовой сетки», позволяющей прогнозировать деформацию мышц при ходьбе конкретного субъекта путем 3D анатомического виртуального моделирования [419].

В Гонконгском университете науки и технологий (*Chen Z., et al., 2013*) разработан метод быстрого и автоматического выявления характерных контуров для измерения 3D моделей оцифрованной поверхности человеческого тела в различных стабильных позах. При этом для

идентификации контуров, характеризующих выраженную геометрическую топологию поверхности, выбор осуществляется из многих источников, построенных с помощью функции Морса, исходных точек и вычисления расстояния, вместо принятого использования координат только одной исходной точки. Благодаря инвариантности расстояний полученные контуры модели фигуры стабильны в различных вариантах поз, что позволяет автоматически получать любые сечения на основе характерных очертаний фигуры [363].

В Департаменте текстильной и швейной промышленности Корнельского университета С. Чой и С. Ашдаун (*Choi S., Ashdown S., 2011*) проведено сопоставление традиционного ручного способа антропометрических измерений и виртуального инструмента 3D сканирования на примере обследования нижней части тела человека в различных позах, в том числе «стоя ноги врозь», «полусидя» и «сидя с коленями, согнутыми под 120° и 90°». Существенные различия исследуемых подходов к антропометрическим измерениям были найдены только в позах сидя для осанки, обхватов бедра (T21) и колена (T22), расстояния от линии талии до пола сбоку (T25) и до пола спереди (T26), длины ноги по внутренней поверхности (T27), дуги паховой области (T77), расстояния от линии талии до плоскости сидения (T49) [367].

Для повышения эргономичности проектируемой одежды исследователями Шанхайского университета Дунхуа и Государственного университета Айовы (*Zong Y., et al., 2011*) предложен интегративный подход формирования динамичных виртуальных манекенов, объединяющий технологии 3D сканирования тела в статике и в динамике и позволяющий импортировать полученные данные непосредственно в САПР одежды [470].

Таким образом, можно отметить актуальность использования виртуальных манекенов человеческих фигур для проектирования одежды с повышенными эргономическими требованиями благодаря высокой достоверности информации о поверхности тела человека.

В последнее время разработки в области компьютерной графики и анимации человеческих фигур стали адаптироваться для применения в швейной промышленности и интернет-торговле путем повышения уровня персонализации виртуальных моделей (*Kasap M., Magnenat-Thalmann N., 2011*). Такой подход позволяет формировать реалистичные фигуры отдельных потребителей, учитывая различные размерные признаки, адаптацию виртуального «скелета» и возможных движений, сохраняя согласованность между различными частями тела [389].

Для расширения сфер прикладного использования виртуальных 3D манекенов важно выделить их семантическую сущность, позволяющую описать особенности, функциональные возможности, характер взаимодействия, чтобы сделать их более доступными для пользователей и обеспечить создание, хранение, извлечение и использование виртуальных человеческих фигур [376]. Группой швейцарских, итальянских и мексиканских ученых (*Gutiérrez A.M., et al., 2007; Magnenat-Thalmann N., Thalmann D., 2005*) проведен онтологический анализ существующих подходов к виртуальному представлению фигуры человека (*virtual humans*), прежде всего на основе геометрического синтеза статических или анимированных фигур. Выявлены три уровня моделирования виртуальных человеческих фигур: 1) моделирование реалистичного представления образа человека; 2) моделирование реалистичных плавных и гибких движений человека; 3) моделирование высокого уровня реалистичности поведения человека [409].

Потребители, желающие осуществить онлайн-покупку одежды, сталкиваются с большими базами данных 3D контента на сайтах производителей или продавцов. Но этот ресурс, который может быть использован во многих приложениях, часто остается недоиспользованным из-за трудности поиска нужной информации. Итальянскими разработчиками М. Аттене, Ф. Роббиано, М. Спагнуоло, Б. Фалсидиено (*Attene M. et al., 2009*) предложена система автоматического распознавания фигуры человека и

отдельных частей его тела человека без участия оператора (рис. 1.19). Чтобы облегчить поиск информации в интернете по запросу пользователя, разработан способ сегментации сетки *3D* поверхности, которая помогает обнаружить различные трехмерные изображения через их семантические обозначения. С помощью интуитивно понятного интерфейса, пользователям предлагается создавать собственные реалистичные «аватары», отображающие масштабированное статичное или анимированное изображение фигуры человека, для которой специально разработанными приложениями может быть подобрана предлагаемая производителями одежда, как подходящая по антропометрическим характеристикам, так и соответствующая внешнему облику потребителя [353].

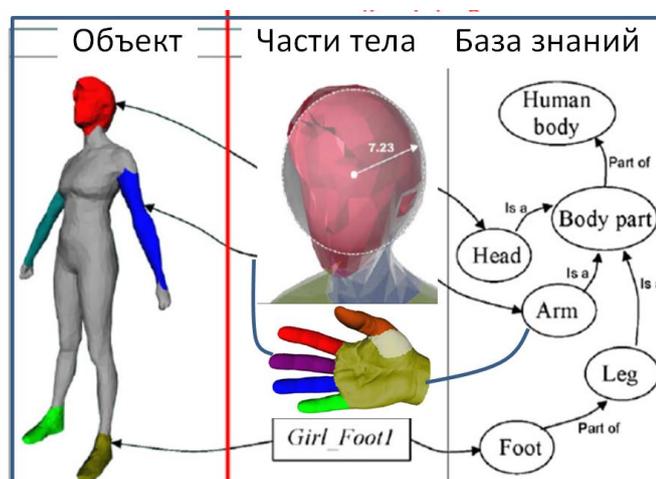
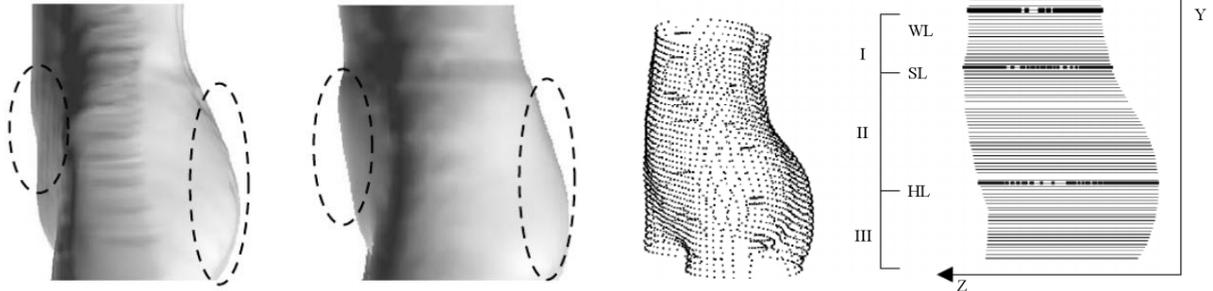


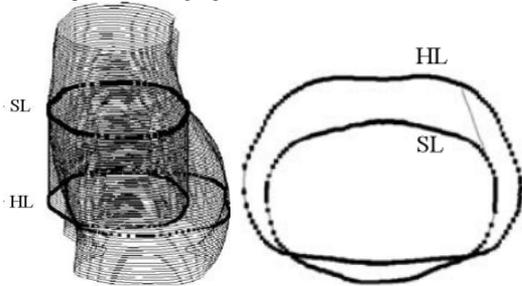
Рисунок 1.19- Автоматическое распознавание частей тела человека [353]

Виртуальное представление фигур отдельных потребителей позволяет обеспечить корректировку конструкций одежды для каждого субъекта, что было реализовано японскими учеными Й. Чо, К. Цучиа, М. Такатера, С. Инуи, Х. Парк и Й. Шимицу (*Cho Y.S. et al., 2010*) при *3D* моделировании прилегающих юбок, учитывающем как степень выпуклости нижней части фигуры человека, так и поведение ткани на различных формах поверхности [364]. На основе *3D* моделей человеческого тела, достоверно отражающих особенности индивидуального телосложения, генерируется *3D* структура узкой юбки прилегающего силуэта и затем осуществляется развертка виртуального изделия с автоматическим получением сложных изогнутых

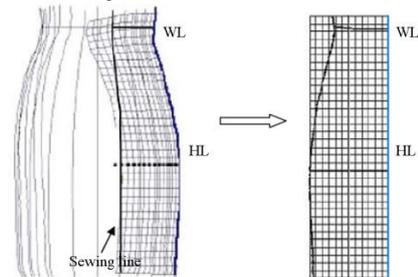
контуров деталей конструкции, подходящих для различного дизайна изделий и размеров женщин (рис. 1.20).



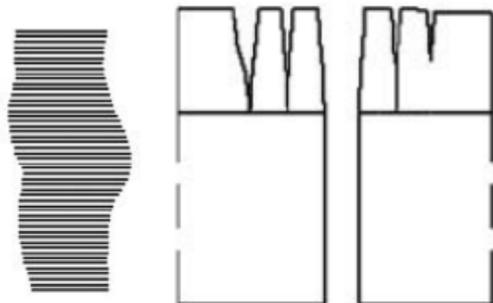
Индивидуальная форма живота и ягодиц



3D-модель и горизонтальные сечения



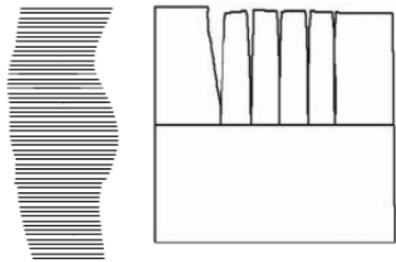
3D модель и совмещение сечений по линиям талии и бедер для определения размера юбки



Реконструкция поведения ткани в зависимости от формы нижней опорной поверхности



Форма абрисов фигуры, БК прямой юбки



Внешний вид изделия на фигуре из материала 1



Передней и задней абрисы фигуры, БК юбки

Внешний вид изделия на фигуре из материала 2

Рисунок 1.20 - 3D проектирование юбок прилегающего силуэта с учетом индивидуальной формы женской фигуры [364]

Способы виртуального представления внешней формы поверхности фигуры человека и одежды в трехмерной среде можно классифицировать по уровню подобия синтезированного изображения реальной картине уровню с

учетом физических, физиологических или психологических характеристик (рис. 1.21).



Рисунок 1.21 - Классификация способов представления трехмерной модели исследуемого объекта

При виртуальном *3D* представлении объекта с учетом *физического подобия* модели геометрические характеристики синтезированного изображения должны полностью соответствовать аналогичным характеристикам реальной картины. Существующие системы технического зрения обеспечивают высокую точность отображения внешней формы фигуры человека в виртуальных *3D* моделях, что дает возможность производить измерения различных параметров его поверхности [140]. Одной из наиболее популярных САПР, реализующих технологии *2D* и *3D* проектирования, является система «*AutoCAD*», разработанная компанией *Autodesk*, имеющая широкий набор инструментов для *3D* моделирования как твердотельных объектов, так и сложных пространственных поверхностей, в том числе фигуры человека, характеризующейся физическим подобием реальному объекту [44, 159]. Следует отметить, что способность системы обеспечить полное физическое подобие внешней формы виртуальных *3D* моделей фигуры человека пространственной форме поверхности реальных объектов является одним из основных требований к разработке методологии

виртуального 3D проектирования внешней формы проектируемых швейных изделий.

При *физиологическом подобии* соответствие модели и реального объекта устанавливается на уровне зрительных ощущений. Модель приближенно передает характеристики реальной картины, однако, благодаря ограниченным возможностям зрительного аппарата, наблюдатель не ощущает возникающих различий. При *психологическом подобии* модель, даже существенно отличаясь по своим характеристикам от реального объекта, создает у наблюдателя адекватное ей зрительное ощущение ("обман глаза") [38].

Большинство моделирующих САПР в различных отраслях промышленности работает на уровне физиологического и психологического подобия (Vaughan W., 2012, Bellocchio F., et al., 2012; Ward A., Randall D., 2010) [308, 347, 349], в том числе:

- ✓ система 3D-графики «3ds Max» компании Autodesk, являющаяся полнофункциональной программной средой для создания и редактирования трёхмерной графики и анимации, имеющая средства для создания разнообразных по форме и сложности трёхмерных компьютерных моделей реальных объектов окружающего мира [110, 126, 347, 541-543];
- ✓ система Maya компании Alias Wavefront, представляющая собой большой набор инструментов для моделирования и анимации, разнообразные средства создания эффектов, объединенные в одно приложение Maya Fur [58, 347];
- ✓ система Atari 3DTM, имеющая мощные моделирующие, но минимальные анимационные возможности, при нетрадиционном интерфейсе;
- ✓ TrueSpace – недорогой программный пакет для моделирования, редактирования поверхностей, тонирования и анимации [545];
- ✓ LightWave 3D – популярная программа для моделирования, удобной анимации и тонирования;

✓ *Silo* –программное обеспечение компании *Nevercenter* для быстрого 3D моделирования сложных высокополигональных органических объектов, включая создание поверхностей вращения и разбиения [349].

Перечисленные системы могут быть легко адаптированы для проектирования одежды в трехмерной среде, хотя их приложения и инструменты с трудом обеспечивают получение физического подобия виртуальных 3D моделей реальным объектам, при хорошем соответствии требованиям физиологического и психологического подобия. Так, Дж. Го (*Guo J.*, 2012) предлагает импортировать модели, полученные в результате сканирования, в *3ds Max*, где их можно корректировать с дополнением текстуры поверхности и анимации движений человека [319].

Важным свойством виртуальных 3D моделей является их топология, от представления которой в трехмерной среде зависит полнота описания конфигурации внешней формы реальных объектов. По этому признаку можно выделить *твердотельные, поверхностные, каркасные* и *точечные* модели. *Твердотельные модели* представляют объекты как сплошные тела, то есть в виде сочетания всех точек объема, занимаемого объектом в пространстве. *Поверхностные модели* несут информацию обо всех точках пространства, принадлежащих поверхности объекта, а внутренние точки в них не учитываются. *Каркасные модели* тоже дают представление только о поверхности объекта, но описывают поверхность как сочетание принадлежащих ей дискретных элементов каркаса – точек или линий, при этом информация о точках поверхности, лежащих между элементами каркаса, отсутствует. *Точечные модели* несут геометрическую информацию о местоположении объектов и взаимных координатах точек объекта.

Отдельно необходимо учитывать форму примитивов, составляющих трехмерную модель. Многочлен первой степени в зависимости от числа аргументов описывает в пространстве прямую линию или плоскость. Отрезки прямых линий используются для представления поверхностей объектов в каркасных моделях, участки плоскости – в поверхностных. В твердотельных

моделях примитивами могут служить полупространства, ограниченные плоскостями. На основе описания моделей многочленов более высокой степени формируются криволинейные примитивы. В каркасных моделях это кривые линии, в поверхностных – криволинейные поверхности, в твердотельных – участки пространства, ограниченные криволинейными поверхностями. Отображаемые реальные объекты редко состоят из одного примитива, как правило, они являются составными.

Исходя из вышеизложенного, следует отметить, что при отсутствии ограничений по форме объекта для описания сложного динамического объекта целесообразно использовать точечные модели, которые впоследствии могут быть преобразованы в твердотельную, каркасную или поверхностную *3D* модель с помощью специализированных программных продуктов, так как *набором точек, заданных с достаточной плотностью, можно представить поверхность любой сложности и формы.*

Эволюция качества виртуального отображения *3D* объектов, технологий хранения, передачи, обмена и поиска *3D* изображений привела к необходимости защиты как передаваемых данных в сети, так и интеллектуальной собственности, то есть формирования системы обработки *3D* объектов, включающих технологии *3D* сжатия и извлечения, *3D* кодирования и декодирования, индексирования и накопления информации [307], что и обуславливает целесообразность разработки отечественных систем *3D* сканирования сложных поверхностей для безопасного преобразования и передачи данных в интернете.

Несмотря на разнообразие существующих зарубежных технологий трехмерного сканирования, развитие подобных отечественных систем идет очень медленным темпом. Отечественными компаниями и научно-техническими коллективами создано значительное количество разнообразных модулей автоматизированного проектирования одежды, способных обеспечить экспорт информации в САПР одежды, но характеризующихся низким техническим уровнем по сравнению с

зарубежными аналогами. Таким образом, результаты проведенного исследования инструментального, методологического и аналитического обеспечения антропометрической информации о субъекте, для которого проектируется одежда, свидетельствуют об **актуальности проблемы разработки высокотехнологичной системы 3D сканирования внешней формы фигуры человека** в одежде и без нее, способной предоставить широкий диапазон инструментов получения и преобразования информации, необходимой для виртуального трехмерного автоматизированного проектирования внешней формы одежды.

Важно подчеркнуть, что при разработке отечественной технологии трехмерного сканирования и системы для ее реализации необходимо обеспечить невысокую стоимость аппаратного оборудования и программного обеспечения, доступную для российских швейных предприятий; максимальную автоматизацию получения необходимого, но достаточного для проектирования одежды количества размерных признаков; простоту методики проведения измерений; небольшие габариты системы; точность и полноту получаемой информации.

Выводы по первой главе:

1. На основе анализа результатов зарубежных исследований установлено, что в глобальном масштабе существует высокая неудовлетворенность населения соразмерной и хорошо сидящей на фигуре одеждой, что во многом определяется недостаточностью антропометрической информации и некорректностью ее использования потребителями.
2. Определена целесообразность проведения высокотехнологичных региональных антропометрических обследований населения, позволяющих обеспечить как типизацию фигур потребителей одежды, обуславливающую баланс между себестоимостью швейной продукции и процентом удовлетворенности потребителей, так и персонализацию виртуального трехмерного представления каждого человека, способствующую

обоснованному выбору соразмерной и хорошо сидящей одежды. Кроме того, в основе проектирования изделий с повышенными эргономическими требованиями должны лежать более глубокие антропометрические исследования фигуры человека в динамическом состоянии.

3. Систематизированы виды информации о пространственной форме поверхности фигуры человека, необходимой для проектирования, изготовления и продажи одежды, а также для достоверного отображения фигуры в виртуальной трехмерной среде. Исследованы существующие способы обеспечения процесса автоматизированного проектирования одежды цифровой информацией о пространственной форме фигур потребителей, выявлена возможность замены субъективно-визуальной оценки телосложения количественной оценкой параметров формы поверхности человеческого тела.

4. Систематизированы существующие способы получения информации о пространственной форме поверхности фигуры человека, необходимой для ее отображения в трехмерной виртуальной среде и экспорта в САПР, и классифицированы по уровням получения, обработки и применения данных.

5. Предложена классификация методов изучения внешней формы фигуры человека и определения широкого диапазона ее размерных характеристик. Выделен ряд подходов получения информации о внешней форме фигур потребителей, в том числе с помощью: национальных стандартов типовых фигур; традиционных контактных измерений индивидуальных фигур; использования механических устройств и приспособлений; фото, видео, оптического, лазерного, электронного и компьютерного оборудования со световым, тепловым или инфракрасным излучением; автоматического трехмерного сканирования; сопоставления с эталоном. В качестве эффективного и безопасного инструментария получения антропометрической информации отмечена технология 3D сканирования.

6. Проведен сравнительный анализ систем трехмерного сканирования, применяемых в швейной промышленности, по уровню обработки и

преобразования информации о поверхности, по видам устройств для ввода или считывания информации, по способу измерений и виду получаемой информации, по скорости измерений, преимуществам и недостаткам.

7. Исследованы и систематизированы способы виртуального трехмерного 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.

8. На основе современных зарубежных исследований в качестве одного из самых экономически эффективных направлений развития мировой швейной промышленности выделена парадигма «массовой кастомизации» и клиентоориентированной стратегии производства, базирующаяся на следующих принципах: совокупность подходов массового производства одежды и индивидуального пошива изделий; создание дополнительной системы заказов отдельных изделий под индивидуальные запросы конкретных покупателей помимо планового массового выпуска продукции; внедрение в производство интеллектуальных двух- и трехмерных САПР одежды, возможность персонализации проектирования одежды с помощью *3D* моделей фигур; проведение достоверных виртуальных примерок изделий на фигурах потребителей; организация интерактивных онлайн-продаж одежды производителями, что способствует ускорению реализации продукции, оперативному реагированию на запросы потребителей и на глобальные тенденции развития общества.

9. Инновационные технологии «массовой кастомизации» помогают не только потребителям найти одежду с хорошим качеством посадки благодаря цифровой информации о размерах и форме тела, но и производителям одежды создать продукцию, учитывающую личные предпочтения потребителей. 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. Интегрированный подход к сканированию индивидуальных фигур, их виртуальному реалистичному представлению, моделированию и электронному измерению позволяет проводить достоверные виртуальные примерки различной одежды, предлагаемой в Интернете.

10. Выявлена необходимость разработки отечественной системы трехмерного сканирования, обеспечивающей построение трехмерных виртуальных моделей объектов с высокой степенью физического подобия и с высокой точностью определения параметров внешней формы одежды и фигуры потребителя для трехмерного автоматизированного проектирования швейных изделий.

11. Выявлены основные аспекты разработки отечественной методологии *3D* сканирования, определяемые рядом существующих проблем: 1) выбора оборудования для считывания информации о топологии поверхности объекта; 2) координации и возможности слияния баз данных, собранных с помощью различных инструментов; 3) аппроксимации поверхности из массива неорганизованных данных, полученных в результате сканирования; 4) объединения с помощью программного обеспечения процессов физического измерения объектов, последующего хранения данных и их визуализации; 5) виртуальной реконструкции внешней формы тела человека для создания *3D* модели фигуры; 6) реалистичное виртуальное представление особенностей структуры и текстуры поверхности исследуемого пространственного объекта.

12. Сформулированы требования к разрабатываемой системе бесконтактного измерения параметров внешней формы тела человека и одежды, в том числе: автоматическое распознавание объектов произвольной формы и определение координат различных точек поверхности; возможность построения трехмерной 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.

13. Сформулирована научная проблема разработки высокотехнологичной системы *3D* сканирования внешней формы фигуры человека в одежде и без нее, способной предоставить широкий диапазон инструментов получения и преобразования информации, необходимой для виртуального трехмерного автоматизированного проектирования внешней формы одежды.

Глава 2. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ ТРЕХМЕРНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ОЦЕНКИ ВНЕШНЕЙ ФОРМЫ ОДЕЖДЫ

Системы автоматизированного трехмерного проектирования одежды позволяют обеспечить быструю сменяемость новых моделей, повысить удовлетворенность потребителей и обеспечить высокое качество швейных изделий. Внедрение в отечественную швейную промышленность инновационных технологий проектирования одежды способствует дальнейшей модернизации производства, снижению материальных затрат производителей.

В основе автоматизации процесса проектирования и изготовления одежды лежат различные методики конструирования одежды, определяющие как получение плоских разверток деталей одежды, так и виртуальное представление пространственного образа одежды в трехмерной среде. Однако, несмотря на высокий уровень визуализации проектируемых изделий и реалистичность фигур потребителей в современных САПР одежды, до настоящего времени не обеспечена достоверность виртуального представления прогнозируемой внешней формы отшитого изделия в трехмерной среде. Поэтому при конструировании одежды требуется примерка отшитого образца изделия для определения необходимости корректировки конструкции деталей, чтобы добиться соответствия проектного решения эскизному и техническому заданию, а также высокого качества посадки проектируемого изделия на соответствующей фигуре потребителя.

На отечественных швейных предприятиях при высоком технологическом уровне автоматизированного проектирования и изготовления одежды, оценка качества проектных решений традиционно осуществляется субъективно, что обуславливает необходимость проведения

исследования способов виртуального моделирования внешней формы одежды и объективной оценки качества проектируемых изделий.

2.1. Способы представления и проектирования одежды в трехмерной виртуальной среде

В основе советского массового производства швейных изделий лежали расчетно-пропорциональные системы конструирования и основные размерные признаки фигуры человека, определяющие внешнюю форму фигуры человека [74]. Стандартизация основных антропометрических характеристик способствовала достижению более полного соответствия готовой одежды фигурам взрослого и детского населения.

Процесс получения разверток деталей конструкции проектируемых швейных изделий осуществляется в следующей последовательности этапов: построение первичных чертежей деталей базовой конструкции (БК); разработка исходной модельной конструкции (ИМК); формирование модельной конструкции (МК). Алгоритм разработки новой конструкции одежды включает анализ эскизного задания дизайнера, расчетно-графическое построение БК, дальнейшее преобразование исходного шаблона с помощью приемов конструктивного моделирования, подготовку конструкторско-технологической документации для изготовления образца, оценку качества посадки полученной конструкции по антроподинамическому соответствию заданной фигуре и отсутствию дефектов посадки, оценку соответствия полученной внешней формы изделия эскизу дизайнера.

В ЦНИИШПе разработана единая методика конструирования мужской, женской и детской одежды (ЕМКО), предполагающая расчетно-графическое построение разверток сглаженного контура типовой фигуры человека с учетом прибавок на свободное облегание [59, 60]. Известны различные подходы к конструированию одежды: универсальный – С.Н. (1938), А.Я. Сковронский (1968), М.В. Стебельский (1979), М.И. Смирнов, В.С. Павлов, В.Н. Кудряшов (1977), В.Е. Романов (СПбГУТД, 1981), В.М. Медведков, Л.П.Бородина, Т.Ф. Дурьгина (ЦНИИШП, 1982), Е.Б. Коблякова,

Г.С. Ивлева и др. (МТИЛП, 1988), А.И. Мартынова, Е.Г. Андреева (МГУДТ, 2006), В.Е. Кузьмичев, Н.И. Ахмедулова, Л.П. Юдина (ИГТА, 2010), Л.П. Шершнева, Л.В. Ларькина (РосЗИТЛП, 2010), Т.В. Медведева, Е.Б. Булатова (1993), И.В. Лашина, М.А. Чижик (ОГУИС, 2005), Н.М. Конопальцева, П.И. Рогов, Н.А. Крюкова (МГУС, 2007), С.В. Куренова, Н.Ю. Савельева (2003), Красникова–Аксенова Л.Я. (2003), И.А. Радченко (2010), О. Резниченко (2010), Е.А. Янчевская (2010), французский - Л. Жак (2008), английский - У. Алдрич (2013), немецкий - М. Мюллер (2012), польский – Р. Ковальчик (2004), итальянский – Ф. Бурго (*Burgo F.*, 2009), японский - Т. Накамичи (*Nakamichi T.*, 2010), американский – С. Гордон (*Gordon S.*, 2012), художественный – Т.В. Козлова, Л.Б. Рытвинская, З.Н. Тимашева (МТА, 1979), Г.И. Петушкова (МГУДТ, 2004), Ф.М. Пармон (МГУДТ, 2002), Е.М. Матузова, Р.И. Соколова, Н.С. Гончарук Н.С. (ИИМ, 2001) [25, 62, 67, 68, 69, 71, 72, 77, 80-83, 88, 92-94, 98, 99, 101, 104, 118, 123, 130, 136, 142, 145, 147, 168, 171, 309, 317, 333].

Вопросами создания гармоничной внешней формы одежды занимались М.А. Тамаркина (1974), Г.С. Горина (1980), Е.Б. Коблякова (МГУДТ, 1984), Г.П. Бескорвайная (РосЗИТЛП, 2004), Ю.Ло, В.Е. Кузьмичев (ИГТА, 2010), Г.А. Каримов, И.С. Каримова (АмГУ, 2003), О.Н. Данилова, И.А. Шеромова, А.А. Еремина (ВГУЭС, 2005), И.Д. Маркелова (МГТУ, 2005), К.М. Хабирова, А.А. Черняева (МГУДТ) [46, 49, 65, 66, 152, 192, 194, 210, 212].

Б.А. Бузовым, Н.Д. Алыменковой, Д.Г. Петропавловским, Н.А. Савостицким, Э.К. Амировым (МГУДТ), С.А. Беяевой (ЦНИИШП), Г.П. Бескорвайной, И.С. Корягиным (РосЗИТЛП) рассмотрены свойства различных материалов и особенности их использования при проектировании одежды [26, 27, 34, 39, 40, 144, 221].

С 80-х годов прошлого века в отечественном швейном производстве появились системы автоматизированного проектирования (САПР) одежды, первоначально для плоскостного (2D), а затем и для объемного (3D)

конструирования швейных изделий. Современная «система автоматизированного проектирования» (САПР – англ. *Computer-aided design/CAD*) представляет собой организационно-техническое обеспечение реализации автоматизированной информационной технологии для проектирования, включая создание, модификацию, анализ и оптимизацию конструкции объекта или его технических чертежей, состоит из персонала и комплекса технических, программных и других средств автоматизации, использование которых позволяет повысить производительность труда конструктора, улучшить качество дизайна изделий, усовершенствовать документооборот [162]. В двухмерном (2D) пространстве САПР может использоваться для создания кривых и плоских фигур, а в трехмерном (3D) – для сложных криволинейных поверхностей или твердых тел [336].

Следует отметить исследования отечественных ученых работавших в этом направлении: 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), [127, 131, 181, 182, 183, 187, 189, 191, 193, 202, 205, 217, 230, 485, 493, 516], а также зарубежных ученых Дж. Фэн, В.Ю, Л. Хантер (Британский текстильный институт, 2004) и др. [312].

Уже в 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*). На основе виртуального манекена человеческой фигуры формировались отдельные детали одежды, объединяемые в поверхность сложной формы, форму или размеры которых было можно легко изменить путем простого ввода данных. Авторами сразу наряду с эффективностью от экономии усилий

проектировщика была отмечена проблема оценки качества посадки проектируемых изделий [379].

На современном этапе исследователями *Euratex* (*The European apparel and textile organization*/ Европейской организации швейной и текстильной промышленности) (*Walter L., et al., 2009*) предложен новый подход к проектированию и производству одежды, получивший название *LEAPFROG* (*Leadership for European Apparel Production From Research along Original Guidelines* / Руководство для европейских производителей одежды). Данная индустриальная парадигма требует сокращения промышленного цикла изделия от эскиза до розничной продажи с учетом потребительского спроса, использованием высоких технологий и результатов научных исследований о материалах, САПР и изготовления одежды [364].

О необходимости смены парадигмы традиционного ручного пошива мужских костюмов, выполненных по заказу (*bespoke*) на индивидуальную фигуру (*made-to-measure*) на более производительный подход подготовки полуфабрикатов (*demi-bespoke*) свидетельствуют результаты этнографического исследования традиционного пошива мужской одежды в Лондоне, проведенного в Лондонском колледже Моды Лондонского университета Искусств путем глубинных интервью (*Ross F., 2007*). В практическую деятельность лондонских портных уже внедрены такие технологические изменения, как измерение размеров путем сканирования фигуры человека, компьютеризация производства, мультикультурные методы проектирования и пошива изделий (*Multicultural tailoring style*) [433]. Таким образом, можно говорить о тенденции взаимовыгодного сближения массового и индивидуального производств в интересах потребителей благодаря интенсивному инновационному развитию отрасли.

Исследователями Университета Манчестера (*Sayem A.S.M., et al., 2010*) утверждается, что к 2010 г. на рынке отсутствовали САПР одежды, способные обеспечить плоскостную развертку виртуальных образцов (*pattern flattening technique*) в промышленных условиях. Хотя виртуальное

проектирование одежды уже осуществляется преобразованиями как из «2D в 3D», так и из «3D к 2D», что позволяет учитывать поведение материала в 3D модели, отображать изделие на виртуальном манекене любой фигуры, изменять дизайн одежды с учетом особенностей телосложения реалистичных фигур [435].

Для осуществления трехмерного проектирования одежды используются технологии компьютерного зрения, компьютерной графики, трехмерного моделирования, визуализации (рендеринга), трехмерной реконструкции объектов.

Методы сбора, обработки, анализа и автоматизированной интеграции данных о многомерных объектах реального мира для создания их цифрового изображения называют *компьютерным зрением (Computer vision)*, которое лежит в основе автоматизированного анализа изображений для промышленного контроля или организации информации, например, создания баз данных благодаря индексации информации или последовательности изображений, распознавания объектов (*Pattern recognition*), их оценки (Freeman H., 1990; Klette R., et al., 1998; Chen C., 2010; Hosny K., Calleja J., 2013) [325, 360, 323, 345, 327].

Для обработки визуальной информации, полученной из реального мира, и синтеза (создания) изображений с помощью компьютеров применяют технологию, называемую *компьютерная графика (Computer graphics)* [119, 342]. Отличием 3D компьютерной графики от двухмерной является возможность графического трехмерного представления геометрических данных (часто декартовых), хранящихся в компьютере, для визуализации 2D изображений на основе алгоритмов создания каркасных моделей методами 2D векторной графики или трехмерных моделей методами 2D растровой графики [51, 156].

Трехмерным моделированием (3D modeling) называют процесс разработки математического представления любой трехмерной поверхности объекта с помощью специального программного обеспечения с получением

продукта, называемого *3D-модель* (двухмерное изображение которого формируют путем *визуализации*) [133, 332, 339, 315, 316]. Под *твердотельным моделированием (Solid modeling)* понимают компьютерное трёхмерное представление объекта, позволяющее описать в САПР физические свойства данного объекта: массу, центр тяжести, прочность и т.д. [344, 314].

Рендеринг или *3D визуализация (3D rendering)* – это процесс получения плоского цифрового растрового изображения (картинки) по модели с помощью компьютерной программы, где *модель* - это описание любых объектов или явлений на строго определённом языке или в виде структуры данных [306, 328, 343]. Под *объёмной визуализацией (volume rendering)* понимают метод формирования изображения, включающего как общий вид, так и внутреннее строение трёхмерного объекта [338]. Отображение трёхмерных объектов на плоскости называют *рендерингом (визуализацией)*.

Трёхмерная реконструкция (3D reconstruction) - это процесс получения формы и облика реальных объектов, выполненный пассивными или активными методами. Если форма модели может меняться во времени, говорят о нежесткой или пространственно-временной реконструкции трёхмерного объекта [335].

Учеными Стэнфордского университета (*Girod B., et al., 2010*) отмечено, что за последнее десятилетие произошло объединение анализа *3D* изображений (т.е. компьютерного зрения) и их синтеза (т.е. компьютерной графики) благодаря первоначальному получению изображений путем видеосъемки или сканирования, дальнейшего анализа, распознавания и интерпретации изображений, *3D* геометрического моделирования с помощью полигональных сеток или сплайнов, визуализации *3D* изображений [338].

Традиционно САПР подразделяются на *универсальные и специализированные*. Универсальные системы проектирования быстро обогащаются новыми технологиями, так как их основное назначение - решение

сложных общеинженерных задач в различных отраслях промышленности. Открытая архитектура универсальных САПР позволяет использовать их графический и математический аппарат при создании специализированных САПР. Анализ САПР, применимых для проектирования одежды представлен в таблице А2 Приложения А, где в качестве универсальных САПР выделены следующие системы: 1) Система *AutoCAD*, реализующая технологии *2D* и *3D* проектирования; 2) Программа *3D Studio Max*, разработанная *Discreet Inc* для создания фотореалистичных объектов и их анимации на основе *3D* графики, моделирования геометрических и физических свойств любых трёхмерных объектов в статике и динамике с имитацией освещения; 3) Система *Maya* для моделирования, анимации и создания различных эффектов, включая модули для моделирования ткани *Maya Cloth* и меха *Maya Fur*; 4) Система *Amapi 3DTM* для построения *3D* моделей; 5) Программный пакет *TrueSpace* для моделирования, редактирования поверхности, тонирования и анимации; 6) Программа *LightWave 3D* для моделирования, тонирования и анимирования образов.

Во всех выше перечисленных системах принципы построения поверхности одежды одинаковы, поэтому выбор того или иного приложения зависит в основном от предпочтений пользователя и стоимости программного обеспечения. Кроме того, важно учитывать возможность адаптации моделей, получаемых в универсальных САПР к требованиям специализированных систем, поскольку зачастую при проектировании одежды существует необходимость экспорта или импорта *3D* моделей и *2D* чертежей конструкции изделия из универсальной системы в специализированную и наоборот.

Современные специализированные САПР одежды содержат модули как двухмерного (*2D*), так и трехмерного (*3D*) проектирования внешней формы швейных изделий и базируются на принципах *одевания* или *развёртывания*. Схема задания поверхности фигуры потребителя и проектирования внешней формы одежды в САПР представлена на рис. 2.1.

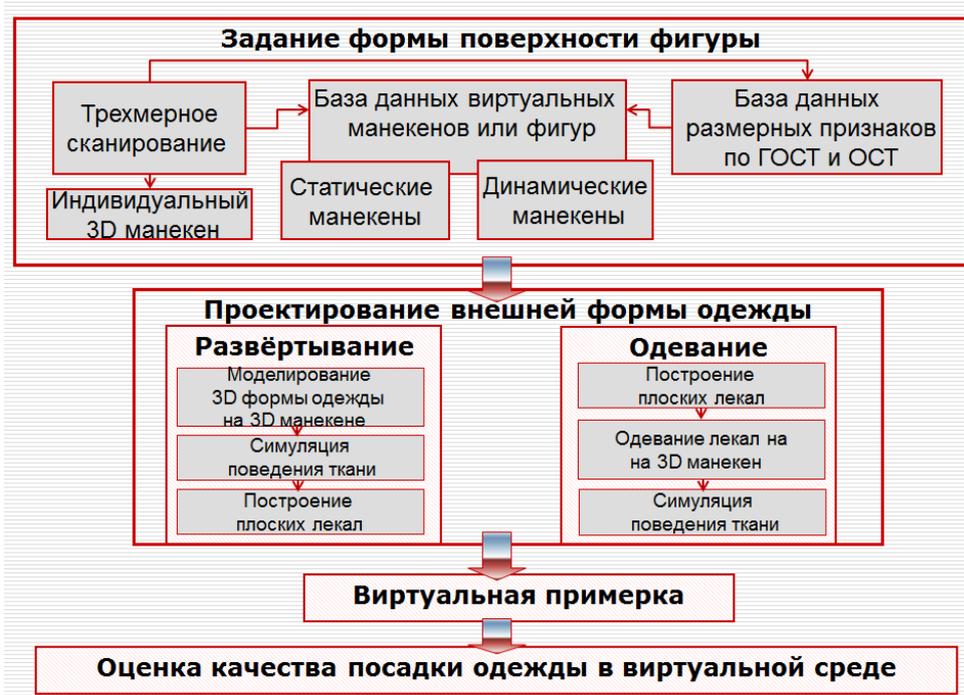


Рисунок 2.1 – Последовательность проектирования внешней формы одежды в трехмерных САПР

Как правило, в САПР одежды выполняются две разновидности последовательностей действий: 1) *Одевание* - генерация по индивидуальным размерам или выбор из существующей базы данных трехмерного образа заданной фигуры (виртуального манекена), создание чертежей лекал деталей конструкции изделия, формирование трехмерного образа изделия на одеваемой виртуальной фигуре путем соединения в пространственную поверхность плоских чертежей деталей изделия, симуляция поведения ткани. 2) *Развёртывание* - генерация по индивидуальным размерам или выбор из существующей базы данных трехмерного виртуального манекена заданной фигуры человека, создание трехмерной виртуальной модели изделия на этой фигуре, симуляция поведения ткани, развертка пространственной поверхности на плоскость с разделением ее на плоские детали конструкции.

Создание внешней формы одежды в 3D САПР имеет два основных сценария: для прилегающего и свободного силуэта. В первом случае при проектировании одежды осуществляется непосредственное копирование виртуальной фигуры человека, а во втором случае могут использоваться

плоские детали конструкции одежды, имеющие заданные прибавки на свободу облегания.

Основными модулями современных САПР одежды являются этапы работы с плоскими развертками поверхности одежды или пространственной поверхностью виртуального швейного изделия. Конструирование в САПР одежды охватывает как плечевые, так и поясные изделия, базовые формы которых можно выбрать из библиотеки данных или построить непосредственно на виртуальном манекене заданной фигуры человека.

Для оценки уровня существующих технических решений САПР одежды проведен обзор изобретений в области компьютеризированного построения конструкций и лекал одежды, способов проектирования швейных изделий. Первый отечественный способ компьютерного моделирования одежды, предложенный в 2000 г. И.С. Заком, Р.И. Сизовой и О.Д. Марченко, включал разработку базовой конструкции одежды из сборочных единиц, наложение конструктивно-декоративных элементов из систематизированной базы данных и выполнение раскладки лекал деталей одежды [485].

О.В. Суриковой, В.Е. Кузьмичевым, Г.И. Суриковой (ИГТА, 2004) предложен «способ построения шаблонов лекал смежных деталей швейного изделия», позволяющий повысить точность построения лекал и способствующий автоматизации конструкторской подготовки производства [493].

Информационному обеспечению процессов трехмерного проектирования посвящен «способ разработки модельной конструкции женской одежды» Л.В. Сильчевой и Т.В. Медведевой (МГУС, 2009), ориентированный на использование набора базовых форм, для которых осуществляют проработку модельной конструкции одежды, корректируемой на конкретную фигуру на основе сопоставления величин проекционных размерных признаков типовой и конкретной фигур с учетом интервалов зрительного безразличия [512].

Интересно, что китайскими авторами стали защищаться авторские права в области трехмерного проектирования одежды на территории РФ, Ли Ч.-Ю., Ли Дж.-Х., Ли Дж.-М. в 2009 г. предложили «систему и способ генерации трехмерных чертежей», которые позволяют реконструировать 3D поверхности с помощью графической программы *Adobe Illustrator* для получения чертежа конструкции, а затем преобразовать 2D объект в 3D модель. Пользователю предоставляются базовые формы, координаты конструкции которых можно изменять в зависимости от заданных размеров [513].

В этом направлении известны исследования, проведенные в Китайском университете Гонконга Ч. Вангом (*Wang C.C.L., et al., 2003-05*), которым предложен метод 3D моделирования, визуализации и реконструкции человеческой фигуры и описаны приемы разработки и модификации одежды с учетом структурно и технологически взаимосвязанного преобразования 3D поверхности одежды в 2D лекала изделия [453, 454, 451, 452, 455].

«Способ автоматического построения трехмерной геометрической модели изделия в системе геометрического моделирования» А.Г. Шипунова и др. (2008) [508] предназначен для проектирования на компьютере сложных технических изделий путем построения трехмерной геометрической модели изделия с помощью одной или нескольких базовых моделей, определенных по первоначально измеренным данным геометрии изделия и затем изменяемых путем изменения значения параметров базовой модели до получения необходимой формы. Следует отметить, что при модификации базовых форм для получения трехмерной модели проектируемого изделия нарекания может вызывать точность проведения конструктивного моделирования для одежды сложных форм и кроев.

Предложенные К. Брандл и С. Суш «способ и устройство генерирования параметрической модели, связанной с геометрией трехмерных объектов» позволяют комплексно изменить формы детали или узла деталей с

одновременным отображением изменений в плоских чертежах благодаря наличию между ними параметрической взаимосвязи, однако предназначены для получения чертежей только статичных объектов [515].

Американскими исследователями К. Ху и В. Су (*Hu X., Xu B., 2010*) предложен метод быстрого параметрического 3D моделирования платьев на индивидуальные фигуры человека с помощью базы данных 2D лекал деталей изделий, сечений фигуры потребителя и методики редактирования ключевых параметров конструкции изделия по характеристикам фигуры. Предлагаемый подход позволяет пользователю модифицировать конструкцию выбранного платья путем ввода заданного набора параметров индивидуальной фигуры [384].

Для улучшения процесса компьютеризированного дизайна и облегчения потребителям выбора одежды и модных аксессуаров американским автором Б. Зенгом (*Zeng B.L., 2011*) предложены «способ, устройство и метод проектирования одежды», которые позволяют создать персонализированные 3D модели людей по данным фактических измерений их фигур, использовать **Ошибка! Источник ссылки не найден.** эту информацию для изготовления 3D физических моделей и для преобразования данных в рабочие чертежи деталей одежды (рис.2.2).

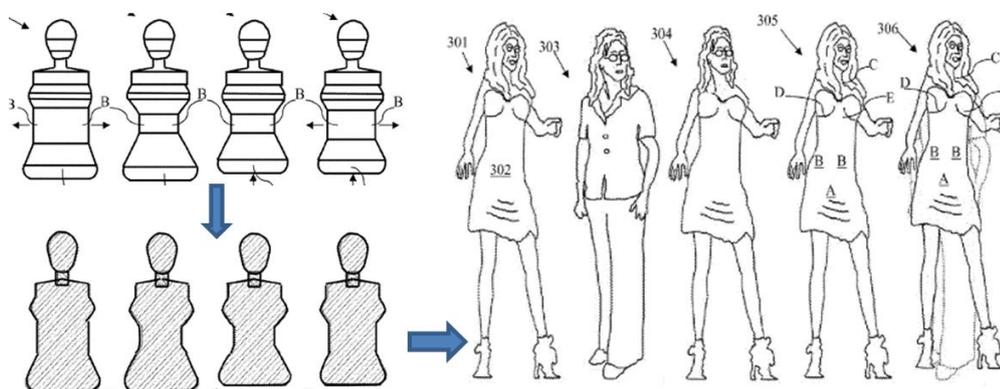


Рисунок 2.2 - Процесс компьютерной генерации внешнего образа человека и проведения виртуальной примерки [518]

Предлагаемую систему можно использовать для проектирования одежды, виртуальной примерки изделий, а также для оценки их соответствия внешнему образу человека. Однако используемая геометрическая

классификация фигур носит условный характер, поэтому не способствует обеспечению достоверности результатов виртуальных примерок [518].

Китайскими изобретателями (*Wang R., et al., 2009*) предложен способ 3D проектирования одежды на основе автоматического «сшивания» двумерных лекал для получения реалистичного трехмерного представления проектируемого изделия на фигуре и последующей автоматизированной корректировки деталей для изменения проектируемой модели [510].

В патентах китайских изобретателей Ю. Сонга (*Song Y., 2004*) и В. Ву (*Wu L.W., 2006*) представлены способы проектирования базовых конструкций специальной и всепогодной одежды и модификации их размеров одежды в соответствии с одеваемой фигурой [494, 502]. Однако, САПР одежды без модуля конструктивного моделирования уже не отвечает современным требованиям.

Еще в 2001 г. всемирно известной японской компанией *HITACHI LTD* был запатентован способ автоматизированного 3D проектирования лекал одежды, включающий передачу двухмерной информации об эскизе и конструкции проектируемого изделия в 3D систему, в которой в зависимости от изменения размеров одеваемых фигур, покроя и силуэта изделия осуществляется изменение 3D модели изделия, после чего соответственно меняется эскизное представление изделия, прибавки, проверяются трехмерные координаты поверхности одежды и вносятся изменения в плоские чертежи лекал (рис. 2.3) [486].

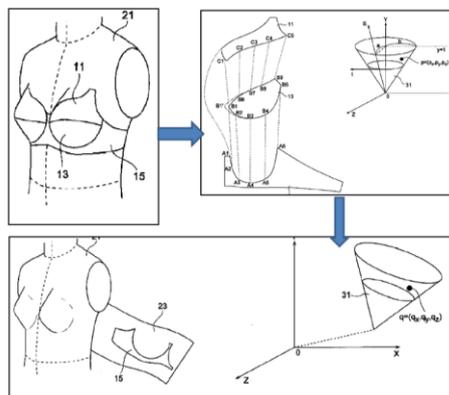


Рисунок 2.3 - Моделирование одежды в трехмерной среде в САПР *HITACHI LTD* [486]

Для сокращения количества примерок и затрат на корректировку образцов для фигур индивидуальных потребителей японскими авторами Ш. Кояма и др. (*Koyama S. et al.*, 2005) разработана система формирования плоских чертежей конструкции корсетно-бельевых изделий на основании 3D изображения фигуры и модели одежды, включая этапы 3D эскизного проектирования, 3D моделирования на типовом виртуальном манекене, развертки деталей конструкции, построения лекал и изготовления образца [497].

Результаты проведенного обзора современных САПР одежды, применяемых в мировой швейной промышленности, с учетом их основных характеристик и описания типов получаемых моделей приведены в таблице А.2 Приложения А.

Первой российской системой трехмерного автоматизированного проектирования одежды стала разработанная в СПбГУТД Н.Н. Раздомахиным и Е.Я. Сурженко система «СТАПРИМ» [276, 292], в которой была обеспечена взаимосвязь пространственного изменения формы одежды и соответствующего изменения параметров разверток деталей, при этом дуговые измерения использовались для контроля заданного объемного изображения торса фигуры на экране монитора. Задание трехмерной формы модели одежды осуществлялось на базе геометрической 3D модели торса фигуры, а преобразование плоской развертки 3D силуэтной конструкции изделия в модельную осуществлялось после ее импортирования в среду САПР "Комтенс", "Инвестроника" или "Грация", где разрабатывались лекала проектируемой модели и решались другие задачи конструкторско-технологической подготовки производства одежды [292]. Система «СТАПРИМ» учитывает более 120 параметров формообразования поверхности изделия, разделяемых на группы стана, рукава и воротника, что позволяет строить поверхность внешней формы проектируемого изделия непосредственно на манекене с помощью задаваемых *проекционных*

прибавок, то есть зазоров между конструктивными точками одежды и соответствующими им антропометрическими точками виртуального манекена (рис.2.4) [277].

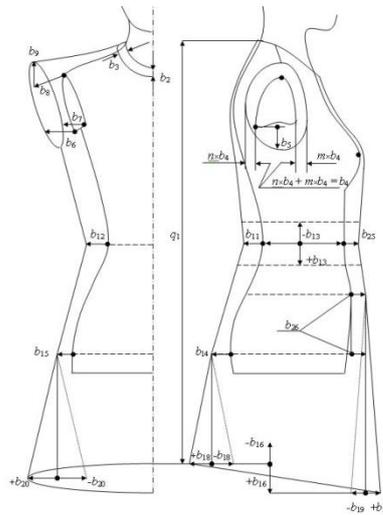


Рисунок 2.4 – Схема расположения проекционных прибавок относительно 3D модели фигуры в САПР одежды «СТАПРИМ»

САПР одежды, базирующиеся на принципах развёртывания, изначально ориентированы на трёхмерное параметрическое представление конфигурации одежды относительно поверхности виртуальной фигуры.

Российский трехмерный модуль САПР одежды «Ассоль» представлен программой *AC-3D Parametric* на базе *AutoCAD*, в которой проектирование одежды происходит последовательно. Выбор оцифрованного 3D манекена типового телосложения (рис. 2.5).

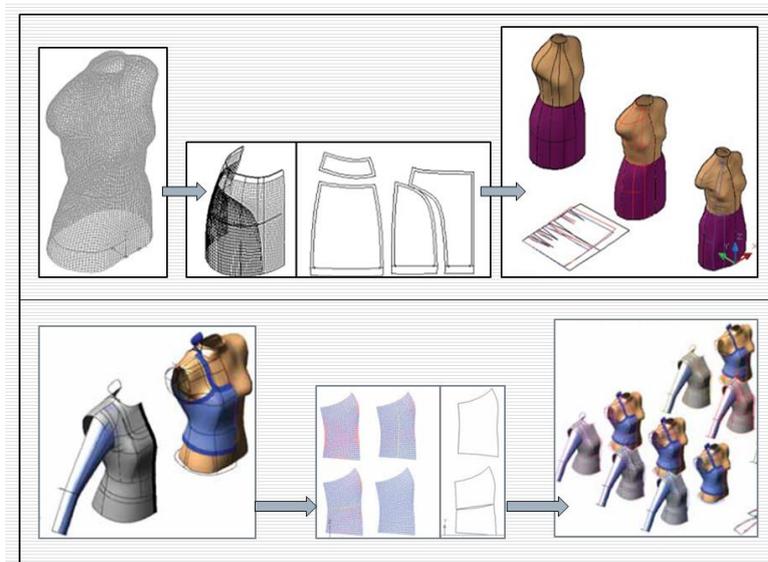


Рисунок 2.5 – 3D построение юбки и блузки в САПР «Ассоль» [549].

Нанесение линий сечений (тали, бедер); определение прибавок, длины изделия; 3D моделирование изделия путем задания параметров заужения, занижения, ширин и длин; выполнение развертки с условием сохранения длин срезов и выпрямленности центральных линий [549].

В программном модуле *AC-Showroom* САПР «Ассоль» предлагается симуляция виртуального представления ткани в пределах цветового и фактурного решений 3D моделей изделий (рис. 2.6).



Рисунок 2.6 – Симуляция цветового и фактурного решений ткани для 3D моделей одежды в САПР «Ассоль»

Китайские разработчики Ж. Ху и др. (*Hu Z.-H., et al., 2008*) дополнили традиционные САПР одежды возможностью использовать знания экспертов для интерактивного и эволюционного (*interactive co-evolutionary/ICE*) проектирования новых образцов одежды (*garment pattern design /GPD*) с помощью метода, обеспечивающего интерактивную поддержку в принятии проектных решений, названного (*ICE-GCAD*) и предназначенного для начинающих дизайнеров [385].

В израильской САПР одежды *OptiTex*, имеющей модуль 3D моделирования изделий *Runway Designer*, трёхмерный профиль тела человека автоматически получается путем 3D сканирования, импорта из универсальной САПР или выбора из библиотеки виртуальных параметрических манекенов [551]. Лекала для 3D модели разрабатываются на плоскости, затем в пространстве детали и линии их соединения располагаются относительно поверхности виртуального манекена, задаются физические свойства и текстура материала. В библиотеке *Runway Designer* собраны базовые формы

одежды, которые могут быть одеты на виртуальный манекен с заданными размерами (рис. 2.7).



Рисунок 2.7 – Одевание базовой формы изделия на виртуальный манекен заданной фигуры в САПР одежды *Runway Designer* [551]

Американская САПР одежды *Gerber* содержит блоки проработки эскиза (*Fashion Studio*), 2D конструирования изделий и подготовки проектно-конструкторской документации (*AccuMark*), 3D проектирования одежды с функцией виртуальной примерки (*AccuMark V-Stitcher*) (рис. 2.8) [550].

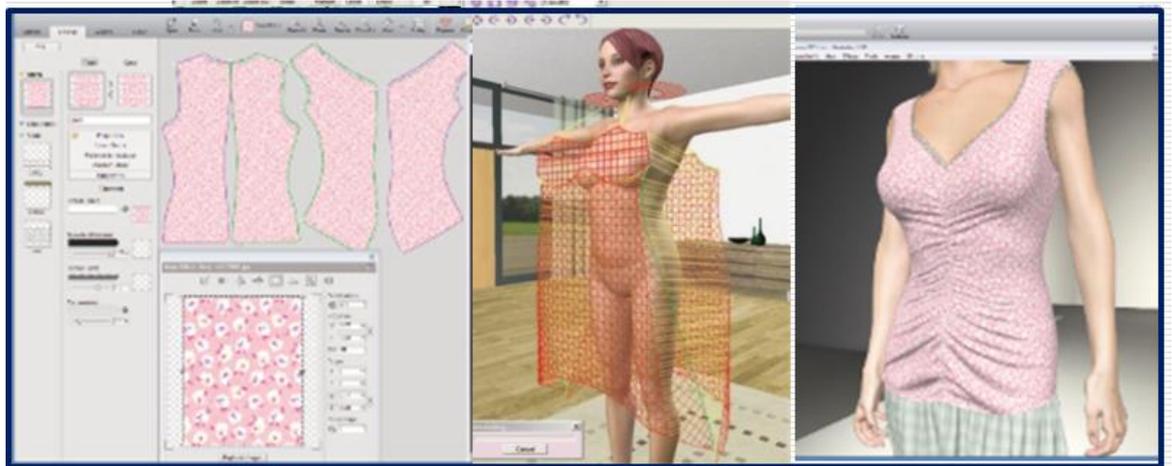


Рисунок 2.8 – 3D проектирование в САПР одежды *Gerber* [550]

Японской компанией *Digital Fashion Ltd* разработана система *DressingSim*, выполняющая этапы создания виртуального манекена сканированием поверхности фигуры с помощью *BodyLine Scanner* (*Hamamatsu*) или *SUBO201* (*SUBO Project*), выбора конструкции изделия из базы данных, преобразования в модельную конструкцию приемами плоскостного конструирования, автоматизированного соединения деталей

конструкции и одевания виртуальной 3D модели проектируемого изделия на виртуальный манекен [553]. Отдельным приложением данной САПР служит модуль *HAOREBA* для оценки посадки виртуальной 3D модели одежды со всех сторон благодаря выполнению просмотра на экране монитора виртуального манекена в выбранной одежде. При этом другой модуль *DRESSTA*, называемый «виртуальным зеркалом», позволяет в режиме реального времени осуществить фотографирование конкретного потребителя, создать виртуальный манекен его фигуры и примерить выбранную виртуальную модель одежды на точной модели фигуры (рис. 2.9).

Продукт корейской компании *Technoa Inc.* САПР одежды *i-Designer* является по основным характеристикам прямым конкурентом японской разработки *Digital Fashion* (рис. 2.10) [554].

Среди возможностей системы можно перечислить построение виртуального манекена, проведение виртуальных примерок в различных ракурсах, построение лекал изделия на 3D манекене, симуляцию поведения материала и 3D моделирование изделий классических форм (рис. 2.11).



Рисунок 2.9 – 3D проектирование изделий в модуле *HAOREBA/DRESSTA* САПР одежды *DressigSim* [553]



Рисунок 2.10 – Виртуальная примерка в САПР одежды *i-Designer* [554]



Рисунок 2.11 – 3D проектирование в САПР *i-Designer* [554]

В 2009 г. известным французским производителем САПР одежды «*Lectra*» запатентовано «устройство и метод моделирования одежды», включающие этапы визуализации проектируемого изделия на 3D модели фигуры человека, изменения стиля, покроя и размера 3D модели одежды, затем развертку деталей конструкции, формирование базовых лекал и экспорт данных в производственный процесс (рис. 2.12) [511].

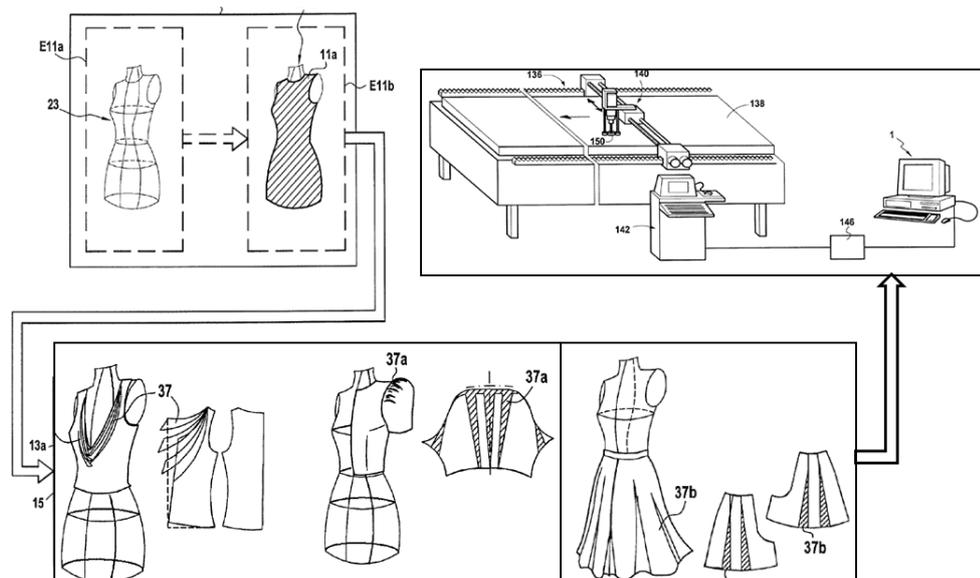


Рисунок 2.12 - Последовательность 3D проектирования одежды «*Lectra*» [511]

Инновационный подход позволил компании «*Lectra*» совместно с компанией *Investronica-Sistemas* разработать комплексную систему подготовки швейного производства, базирующуюся на отдельных *модулях* [555]: 1) разработка технических рисунков моделей одежды (*GraphicSpec*) и художественных эскизов (*Kaledo-Style*); 2) проектирование цветового решения модели (*PrimaVision*) и имитации фактуры ткани (*ColorWeave*); 3) разработка лекал деталей одежды и их градация; 4) выполнение раскладок лекал в автоматическом режиме (*Diamino*); 5) планирование производственного процесса (*Optiplan*), представленную на рисунке 2.13.



Рисунок 2.13 - 3D проектирование в САПР одежды «*Lectra*»

Таким образом, проведенное исследование современных подходов к автоматизированному проектированию одежды свидетельствует о востребованности методов трехмерного виртуального проектирования в швейной промышленности, о внедрении 3D моделирования в практическую деятельность дизайнеров и конструкторов одежды, о существующей проблеме обеспечения достоверности 3D моделей внешней формы проектируемой одежды и корректности виртуальной примерки изделий на заданных фигурах.

2.2. Особенности трехмерного моделирования внешней формы одежды с учетом симуляции поведения материалов

Достоверность представления виртуальной модели внешней формы проектируемого изделия во многом зависит от прогнозирования поведения используемых материалов на фигурах различного телосложения.

Большинство современных САПР одежды содержат модуль симулирования поведения ткани в изделии и учитывают некоторые свойства материалов, в том числе визуальные (цвет, фактуру, орнамент) и механические (растяжение по основе и утку, гибкость, поверхностную плотность, толщину, максимальное растяжение и т.д.). Во многих системах 3D проектирования уже заложена определённая база данных (БД) материалов, которая может пополняться пользователем. Демонстрационные модули некоторых САПР одежды позволяют отобразить поведение ткани на движущейся фигуре, проанализировать пропорции и расположение конструктивных и декоративных элементов, однако реалистичность такого представления изделия пока вызывает сомнения.

Первые значительные шаги в области симулирования и моделирования поведения ткани в компьютерной графике и анимации виртуальных моделей одежды были сделаны американскими исследователями Университета Карнеги-Меллона (*Baraff D., Witkin A., 1998*) и базировались на алгоритме модифицированных обусловленных сопряженных градиентов (*modified preconditioned conjugate gradient algorithm/ MPCG*) [356]. Предложенный метод виртуального симулирования ткани был усовершенствован канадскими исследователями в Университете Британской Колумбии (*Ascher U.M., Boxerman E., 2003*) благодаря использованию неявных методов интегрирования, увеличивающих шаг симуляции ткани при заданных ограничениях, алгоритмов линейной алгебры, обеспечивающих процедуру фильтрации данных в виде ортогональной проекции, что обеспечивает высокую конвергенцию точек 3D модели ткани [352].

Одним из способов моделирования поведения ткани при её взаимодействии с поверхностью твёрдого многогранного объекта (манекена) является использование метода частиц, когда моделью ткани представляется система частиц, размещённых в точках пересечения продольных и

поперечных нитей, жёстко сплетенных во взаимосвязанную сеть (рис. 2.14) [161, 322].

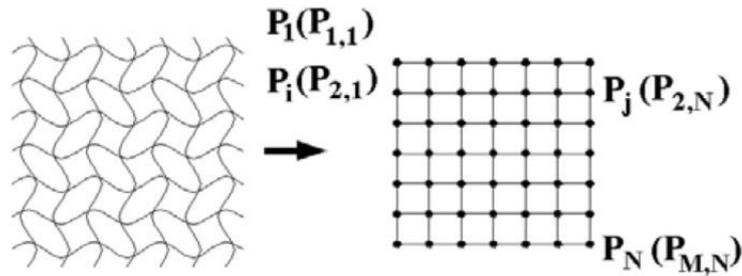


Рисунок 2.14 – Дискретная модель ткани [161].

В работах В.Д. Фроловского и В.В. Ландовского взаимодействие ткани и манекена определяется путем установления после каждого вычисления нового положения частиц – соприкасалась ли какая-нибудь частица с поверхностью манекена. В случае размещения одной из частиц ткани внутри или на поверхности манекена, корректируется ее положение и скорость. Для этого определяются начало и конец вектора перемещения частиц, возможность пересечения вектором некоторой грани манекена [247, 248, 249, 209, 294]. При моделировании одевания тканью поверхности манекена предполагается, что поверхность объекта и ткань находятся вблизи друг от друга, избегая сближения, но в некоторых точках соприкасаясь. Предложенный подход позволяет математически описать возможное поведение ткани при взаимодействии с поверхностью тела человека, то есть «симулировать» расположение ткани в готовом изделии, одетом на заданную фигуру. На рисунке 2.15 представлена симуляция поведения платьевой ткани на виртуальном манекене.

Исследователями Ньюйоркского университета Дж. Портила и Э. Симончелли (*Portilla J., Simoncelli E., 2000*) предложена универсальная модель для виртуального изображения текстур различных искусственных и природных материалов при параметризации базы статистических данных с учетом вейвлет-коэффициентов (*wavelets coefficients*), определяющих пространственное местоположение, направление, масштаб и прилегание материалов друг к другу в различные моменты времени, а также алгоритм

синтеза случайных образов материалов путем последовательного проектирования набора изображений [429]. Испанскими учеными в 2013 г. (*Martínez J., et al., 2013*) сделана попытка виртуального отображения тактильных ощущений от текстуры материала [412].

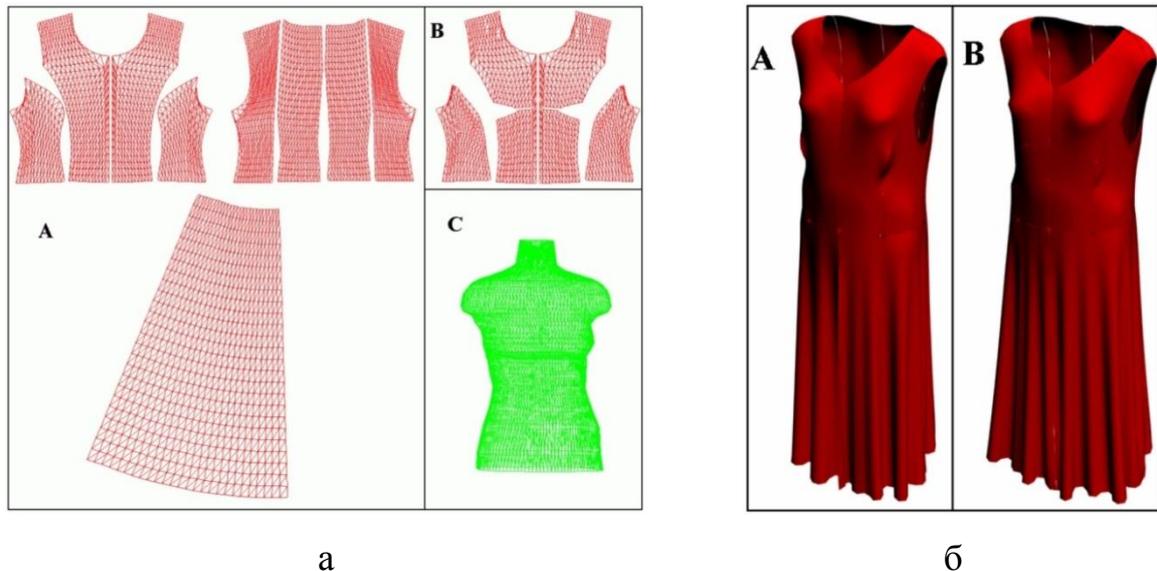


Рисунок 2.15 – Симуляция поведения ткани с использованием метода частиц: а - развертка сеткой поверхности фигуры и моделирование деталей платья; б - симуляция ткани на виртуальном манекене [248].

В работе ирландских ученых Дублинского городского университета (*Plea D.E., Whelan P.F., 2011*) предложен способ адаптивной интеграции цвета и текстуры виртуального образа объекта на основе его сегментации [386]. *Сегментация изображений (Segmentation)* представляет собой процесс разделения цифрового изображения на несколько сегментов (наборов пикселей), имеющих общие характеристики или компьютерные свойства, такие как цвет, интенсивность или текстура, с целью упростить или изменить образ объекта.

Бразильскими учеными (*Mesquita Sá Junior J.J. de , Backes A.R., 2012*) предложен способ анализа и виртуального отображения текстуры материала с использованием метода извлечения визуальной информации Булигана-Минковского (*Bouligand–Minkowski method*) путем выделения параметров, определяющих набор характерных векторов, описывающих структуру и плотность ткани [415].

Инструменты симулирования эффекта реальной ткани все чаще используются дизайнерами в кино, телевидении, рекламе и компьютерных играх при создании и одевании виртуальных персонажей (*Taylor A., et al., 2003*). Британскими разработчиками предлагается использовать при проектировании текстильных изделий и одежды программное обеспечение 3D графики, помогающее оцифровать динамику ткани [447].

Исследователями Государственного университета Северной Каролины (*Kenkare N., et al., 2008*) предложен метод корректного 3D моделирования драпируемых тканей с различными физико-механическими свойствами, которые не принимают однозначную пространственную конфигурацию в одежде. Реализм имитационных моделей поведения ткани в одежде базируется на установленной взаимосвязи между параметрами ткани, измеренными на отшитом образце изделия, полученными в результате 3D сканирования образца и путем виртуального моделирования, что отражено в базе данных [390].

Результаты исследования М. Ю, Ю. Вонг, И. Вонг, Дж. Ли из Шанхайского университета Дунхуа (*Yu M., et al., 2013*) свидетельствуют о тесной взаимосвязи между распределением и величиной воздушных зазоров в одежде и механическими свойствами различных тканей, установленной путем 3D сканирования, последующей 3D визуализации модели одежды и компьютерной обработки графических данных. Объемы воздушных зазоров (*air gap space*) в одежде значительно положительно коррелируют с жесткостью на изгиб, длиной детали одежды и плотностью по основе (*stiffness-bending length and warp density*), а также существенно отрицательно коррелируют с глубиной равномерно распределенных складок (*drape-crest angle uniformity*), что важно для прогнозирования поведения ткани в одежде и процесса ее проектирования [465].

Т. Мачем и Г. Сонгом из Канадского университета Альберты в Эдмонтоне (*Mah T., Song G., et al., 2010*) изучено влияние величины и распределения воздушных зазоров между поверхностью тела человека и

одеждой, определенных путем *3D* сканирования, на драпируемость тканей, имеющих различные свойства. Результаты показали существование обратной зависимости между величиной воздушного зазора и количеством складок ткани. Применение метода *3D* сканирования внешней формы одежды позволяет не только измерить степень драпируемости ткани, но и детально описать складки по всей длине изделия [410].

В настоящее время лучше изучен процесс *3D* представления внешней базовой формы изделия, потому что простые силуэтные формы поверхности одежды легче поддаются математическому описанию [49, 122]. Сложные силуэтные формы требуют учета пластических закономерностей образования поверхности тканью и особенностей антропометрических характеристик потребителя. Поверхность внешней формы одежды может быть описана как силуэтными проекциями во фронтальной и сагиттальной плоскостях, так и горизонтальными сечениями, а также информативными точками, расположенными на контурах сечений и характеризующими силуэт. Количественно охарактеризовать форму проектируемого изделия в трёх измерениях можно с помощью величины проекционных прибавок как зазора между телом и одеждой. Кроме того, такие параметры контуров горизонтальных сечений, как пространственный зазор и его угловая мера, помогают описать пластику поведения материала в готовом изделии относительно поверхности одеваемой фигуры человека.

В исследованиях, проведенных в МГУДТ Т.А. Черемисиной, Е.К. Волковой, Е.Г. Андреевой было установлено влияние свойств материалов различных групп по поверхностной плотности и сырьевому составу на внешнюю форму мужского пиджака, и в первую очередь на проекционные прибавки [215, 211, 214]. Влияние драпируемости материалов на степень образования складок в женских поясных изделиях было изучено в работах И.М. Акимочкиной, А.А. Черняевой и К.М. Хабировой (МГУДТ) [212, 172, 210].

Именно характер влияния различных свойств материалов на форму контура кривой, ограничивающей ряд горизонтальных сечений швейного изделия, определяет фактическое поведение материала на фигуре человека. При этом внешняя форма одежды из одного и того же материала, одетого на одну и ту же фигуру, может не иметь однозначного решения, особенно при свободном силуэте. Одно из решений задачи симулирования поведения материала предложено корейским изобретателем К.-Й.Кэнгом (*Kang K.-Y.*, 2007). Благодаря компьютерной программе распознавания ткани и возможности проектировать одновременно 3D модель одежды и текстильный материал для нее получают данные, которые автоматически фиксируются и передаются на производство для изготовления материала [505].

В ИГТА под руководством проф. В.Е. Кузьмичева проводились экспериментальные исследования особенностей поведения пакетов материалов одежды в трехмерной среде с использованием технологии 3D сканирования, что позволило создать информационную базу данных, содержащую сведения о закономерностях изменения пластики поверхности одежды под влиянием конструктивных параметров изделия. В этом направлении в 2009 г. Ю. Ли, аспирантом из Юханьского университета науки и технологии, проведено исследование поведения пакетов материалов и изучение внешней формы утепленных курток методом сканирования [250]. Анализ объемного формообразования курток различных силуэтов и пакетов материалов относительно поверхности одеваемой женской фигуры проводился в сагиттальной и горизонтальных плоскостях путем совмещения сечений курток различных объемно-пространственных форм (рис.2.16). В результате проведенных исследований была предложена математическая модель расчета координат точек для построения контурных линий каркаса куртки, позволяющая прогнозировать форму проектируемых курток для заданной фигуры, при известных конструктивных прибавках по линии груди и составе пакета материалов.

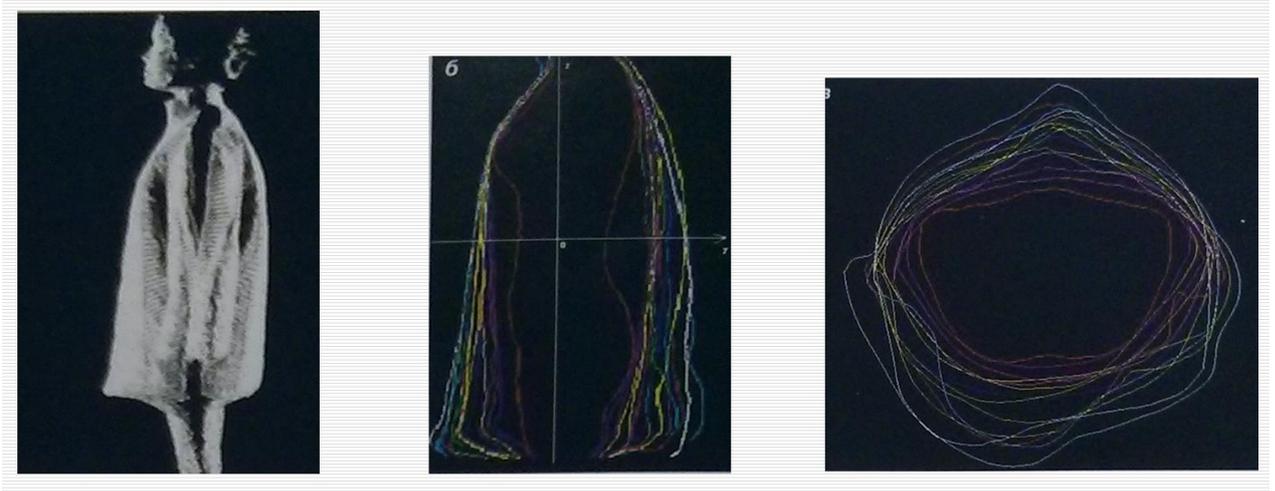


Рисунок 2.16 – Сечения трехмерных моделей внешней формы различных курток и одеваемой фигуры

В 2010 г. в ИГТА китайским аспирантом из Технологического университета Чэнчжоу Ю. Ло (*Luo Y.*) изучалось пространственное формообразование основных видов женской одежды с использованием французского бодисканера *VITUS* и программного обеспечения *Imageware*, что позволило выявить основные факторы, определяющие целенаправленное изменения пластики поверхности одежды различных объемно-силуэтных форм (рис.2.17), и предложить алгоритм параметризации проекционных зазоров в одежде [251, 252]. Дальнейшие исследования Ю. Ло в этом направлении были посвящены совершенствованию процесса виртуального проектирования плечевой одежды и процесса плоскостного проектирования узла «пройма-рукав» при использовании новых технических средств [192].

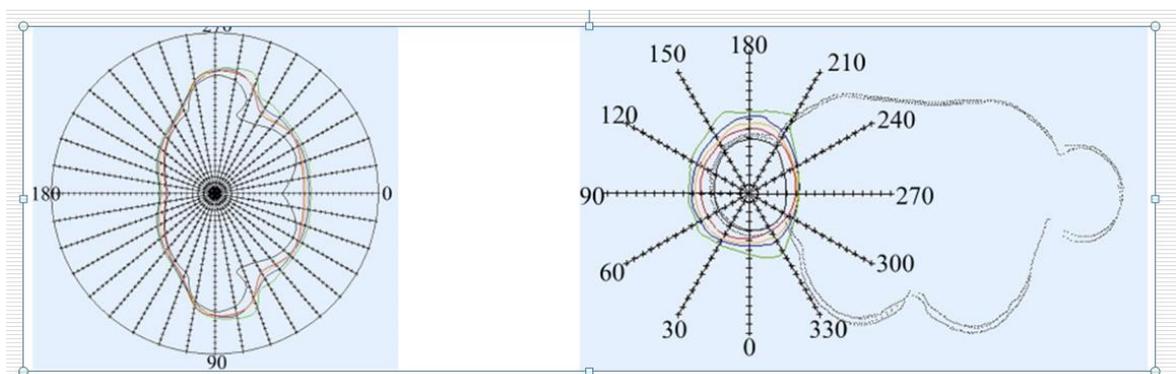


Рисунок 2.17 - Примеры совмещения сечений фигуры и стана одежды разных объемно-пространственных форм [192]

Исследователями из японского Научно-технологического института в Наре и американского Университета Карнеги-Меллона (*Ukita N., Kanade T.*,

2012) предложен метод трехмерной реконструкции поведения ткани в одежде с учетом образующихся складок и регулярного цветного или текстурированного рисунка [448]. Китайскими учеными из Шанхайского университета Донхуа Х. Лиу и др. (*Liu H., et al., 2011-2012*) проведены исследования в области симуляции поведения материала при одевании на фигуру человека. Предлагаемый подход обеспечивает высокое качество аппроксимации поверхности изделий сложных форм с учетом достоверного поведения драпируемых платьевых тканей, что способствует автоматизации проектирования одежды (рис.2.18) [402, 403].

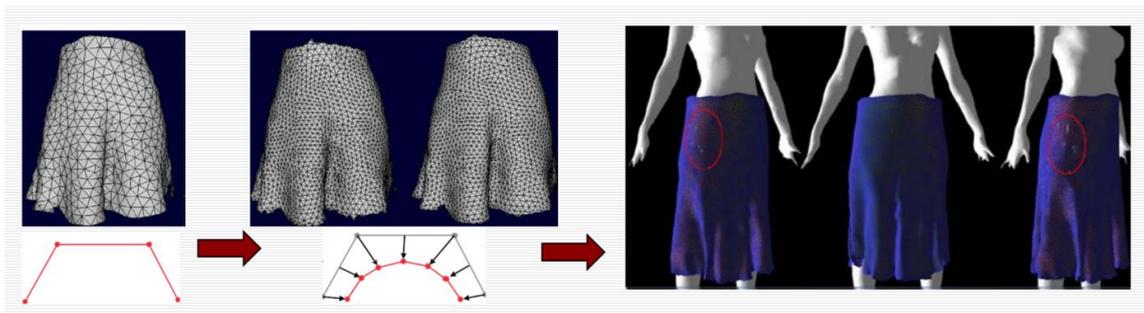


Рисунок 2.18 - Симуляция поведения материала с достоверной визуализацией складок [403]

В 1989 г. под руководством профессора Н. Магннат-Тэльман (*Magnenat-Thalmann N.*) в университете Женевы основана междисциплинарная исследовательская лаборатория *MIRALab*, реализовавшая разработки по 3D моделированию реалистичных фигур людей и интерактивного 3D проектирования одежды, включая симуляцию поведения ткани с помощью программного обеспечения [348, 408, 407, 321].

Результаты впечатляют достоверностью передачи особенностей поведения материалов и трёхмерных фигур человека (рис.2.19) [449].



Рисунок 2.19 – Симуляция поведения материала на движущейся фигуре человека [449]

Предлагаемая П. Волино, Ф. Кордые, Н. Магненат-Тэльман (*Volino P. et al., 2005*) система интерактивного проектирования обеспечивает возможность выбора 3D моделей фигур различного размера по индивидуальным характеристикам потребителя (размерным признакам или результатам сканирования тела) и виртуальной примерки изделий из базы данных (промышленной коллекции) с достоверной симуляцией поведения материала в одежде, основанной на комплексном изучении свойств и ориентации в пространстве и в динамике (рис.2.20).

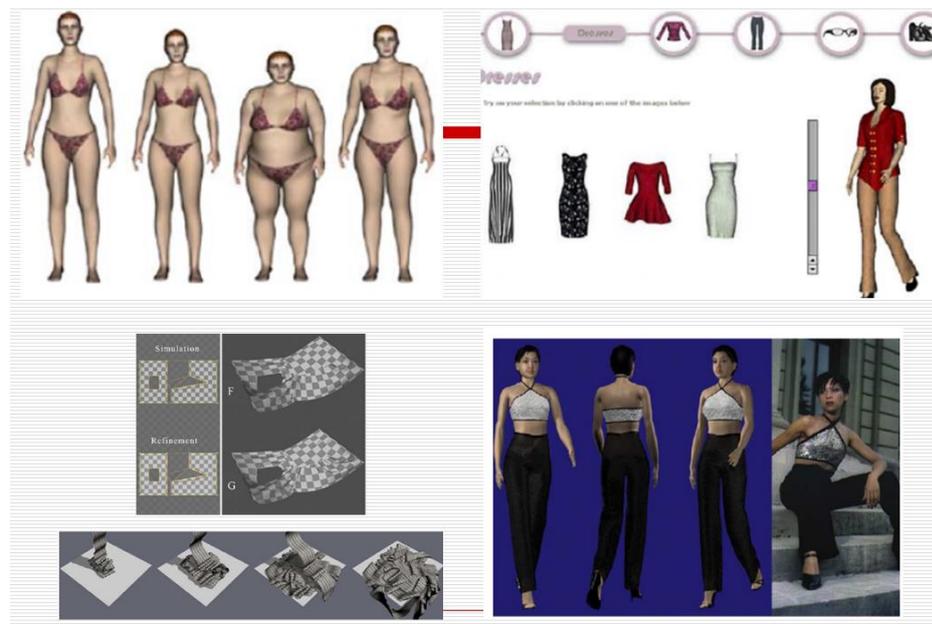


Рисунок 2.20 – Интерактивное проектирование: выбор виртуальной фигуры человека, выбор изделия из базы данных, симуляция поведения материала в пространстве, виртуальная примерка [449].

Качество и достоверность представляемых 3D моделей фигур и одежды достаточно высоки и позволяют прогнозировать движения одетого человека и отображать их (анимировать). Возможность оперативно создавать 3D модель швейного изделия из 2D конструкции и интерактивно изменять размер проектируемой одежды в соответствии с параметрами фигуры человека способствует применению данной разработки не только в рамках швейного производства, но и в качестве онлайн-платформы продажи виртуальной одежды [449, 330].

Ливанскими и швейцарскими учеными в 2013 г. (*Yasseen Z., et al., 2013*) предложен способ виртуального моделирования одежды, при котором

достаточно задать контуры внешней формы одежды на виртуальном манекене. При этом генерируется полигональная сетка поверхности с четырехугольными ячейками (*quad meshes*), представляющая собой набор вершин, ребер и граней, определяющих 3D форму поверхности многогранного объекта и отображающих прилегание деталей изделия к виртуальной фигуре и образование складок ткани в одежде. В качестве способа геометрической трансформации сетки в компьютерной графике выбрана схема параметризации фрагментами поверхности Кунса (*Coons patch*), предназначенными для плавного присоединения различных поверхностей друг к другу и укрепления сетки в проблемных областях, и представляющими собой бикубическую поверхность между четырьмя граничными пространственными кривыми при условии произвольной формы границ и постоянства топологических решений. Затем поверхность 3D модели одежды анимируется путем объединения конечных элементов создаваемой сетки и реконструкции поверхности ткани, что позволяет визуализировать складки поверхности любой кривизны [462].

Учеными Дрезденского университета Э. Хлаингом, С. Кржвински и Х. Роэделом (*Hlaing E.C. et al., 2013*) предложен метод 3D моделирования верхней одежды свободного силуэта на основе 3D сканирования различных типов нижней части женского тела. Из созданной базы данных виртуальных манекенов женских фигур (см. рис.1.15) выбирается 3D модель женской фигуры заданного размера и телосложения, затем создаются каркасная и параметрические модели трехмерной виртуальной базовой конструкции прилегающих брюк, автоматически генерируются детали плоскостной развертки изделия (фрагменты 2D модели БК брюк) и осуществляется градация конструкции по размерам (рис.2.22). Достоверность внешней формы проектируемых брюк обусловлена проведенными теоретическими и экспериментальными исследованиями симулирования поведения ткани брюк свободной формы на различных уровнях женских ног (рис.2.21).

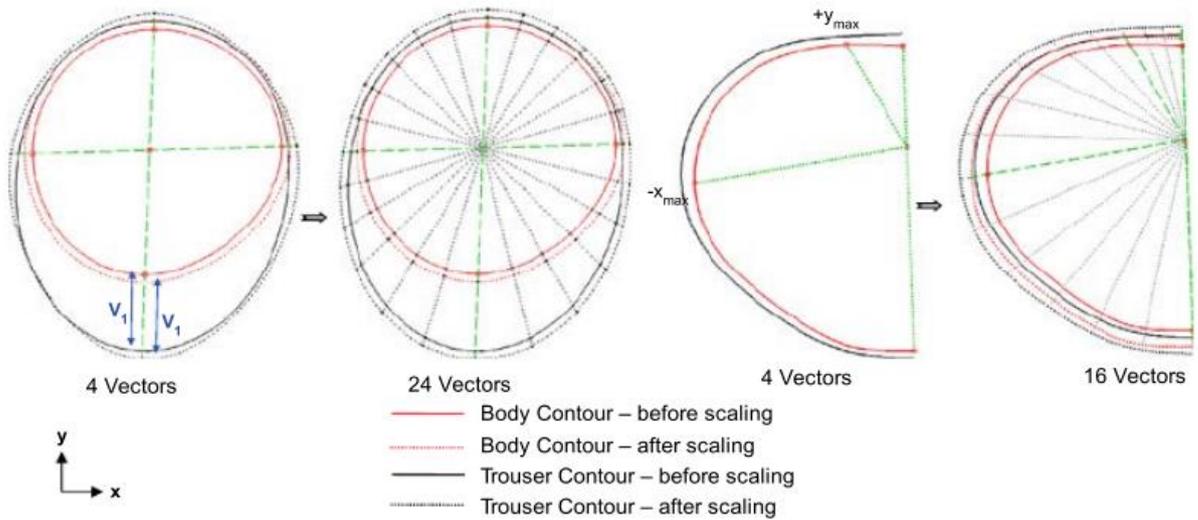


Рисунок 2.21 - Симуляция поведения ткани брюк свободной формы на виртуальном манекене женских ног на различных уровнях [381]

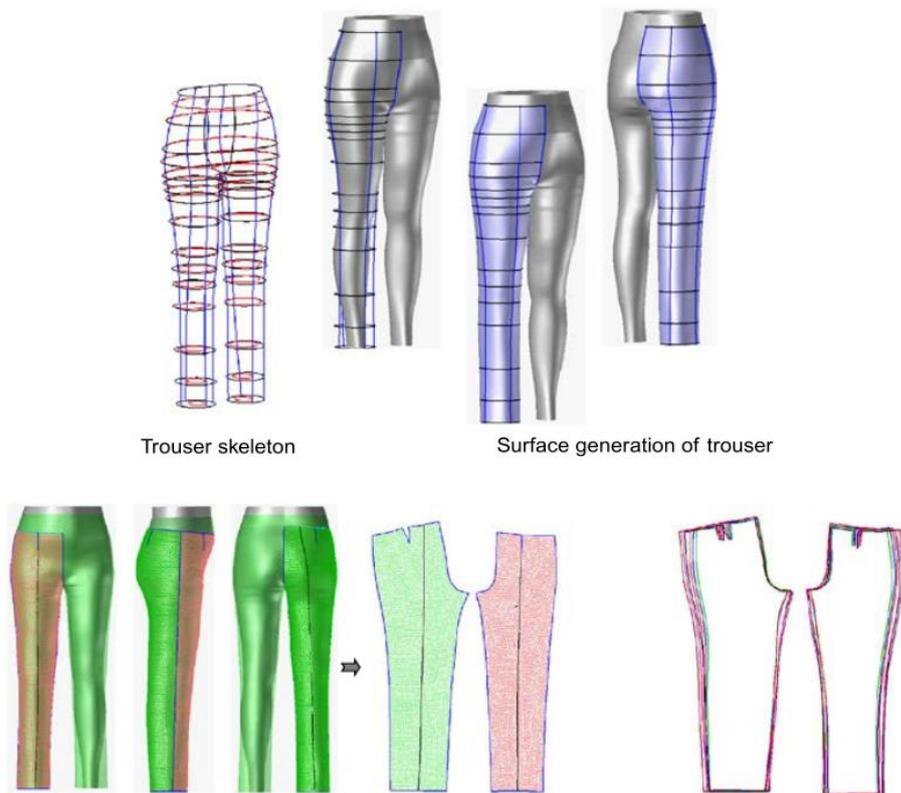


Рисунок 2.22 – Визуализация 3D моделей брюк на выбранном виртуальном манекене женской фигуры и 2D развертка их базовой конструкции прилегающего силуэта, градация конструкции по размерам [381]

Для проектирования функциональных женских брюк различных силуэтов осуществляется модификация виртуальных 3D моделей женских брюк по свободе облегания, конструктивным членениям, форме и длине изделия согласно эскизному заданию (рис.2.23).

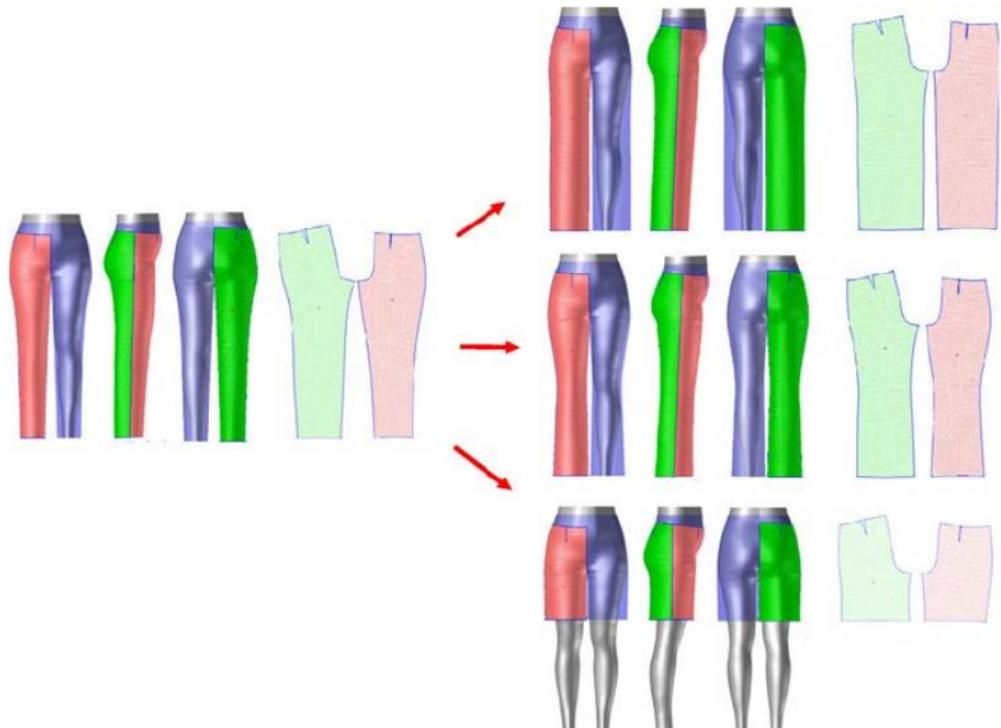


Рисунок 2.23 – 3D моделирование брюк различных форм, силуэтов и длины на базовой виртуальной модели [381]

Разработанный метод позволяет представить виртуальные модели женских фигур и проектируемых изделий в трехмерной среде, а затем сортировать их на основе принятой в Германии системы маркировки размеров одежды, а также в соответствии с промышленными коллекциями производителей данного ассортимента, что способствует повышению доступности этой продукции для потребителей [381].

Одним из основоположников математического обеспечения систем компьютерного зрения О. Фогэрасом (*Faugeras O.*, 1993) рассмотрены методы реалистичности представления изображений, различных движений фигур человека в трехмерной среде, особенно 3D поворотов [313].

В 2005 г. Б. Мэй, Э. Рамстейн и П. Шедмэ зарегистрировали изобретение «способа и системы для перемещения виртуальной модели человека в виртуальной среде», при которых виртуальный манекен имеет общее положение и несколько степеней свободы сочленений, автоматически корректируемых при его перемещении с позиции эргономики, что обеспечивает оптимальный уровень удобства положений, принимаемых манекеном, без дополнительных испытаний (рис.2.24, а) [500].

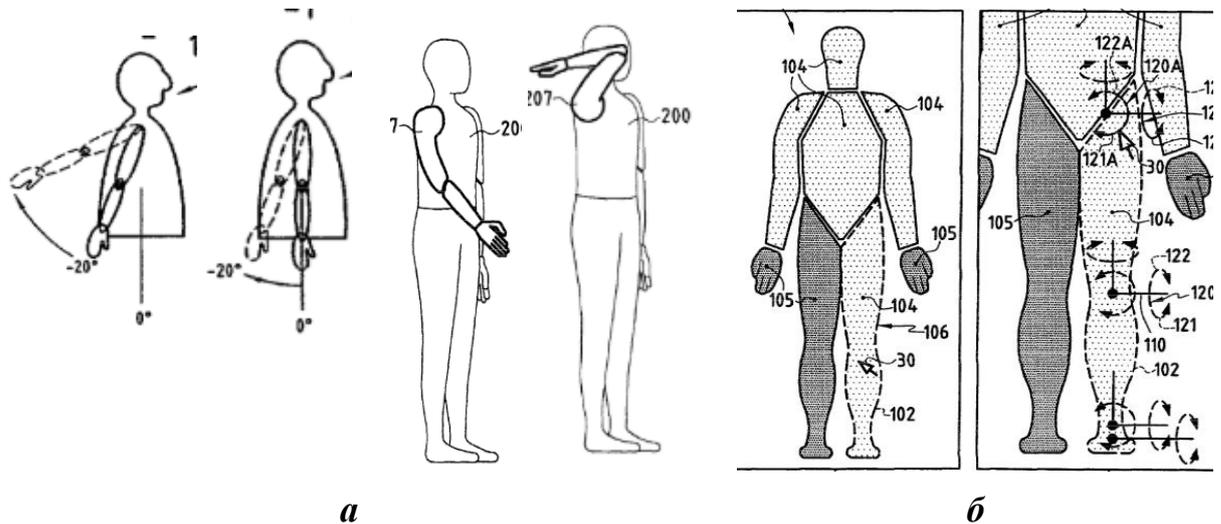


Рисунок 2.24 - Виртуальная модель фигуры человека в виртуальной среде: а - перемещение конечностей виртуального манекена [500]; б- степени свободы отдельных виртуальных частей тела [501]

Для имитации перемещений виртуального манекена предложена «система графического интерфейса», позволяющая отображать в первом окне экрана общее изображение манекена, часть тела которого может быть выбрана с помощью «мыши», увеличена и представлена во втором окне экрана с характеристиками степеней свободы в соответствии с требованиями к эргономичной одежде для данной части тела (рис.2.24, б) [501].

Исследователями лаборатории графики Сеульского национального университета К.-Дж. Чои и Х.-С. Ко (*Choi K.-J. et al., 2005*) разработаны имитационные модели ткани, которые отображают реалистичные движения материалов одежды, одетой на фигуру человека, в реальном времени, что находит применение как в дизайне одежды, так и в швейном производстве. На рисунке 2.25 приведена последовательность основных процедур моделирования виртуального образа ткани в образце одежды на фигуре человека [366].

Процессы моделирования формообразования материала одежды в пространстве и *анимации ткани*, то есть создания ее движущегося изображения с помощью компьютерной графики, имеет много общих технических задач, в том числе разработку методов *3D* моделирования сложных конструкций одежды, создание реалистичного изображения, сокращение времени проектирования

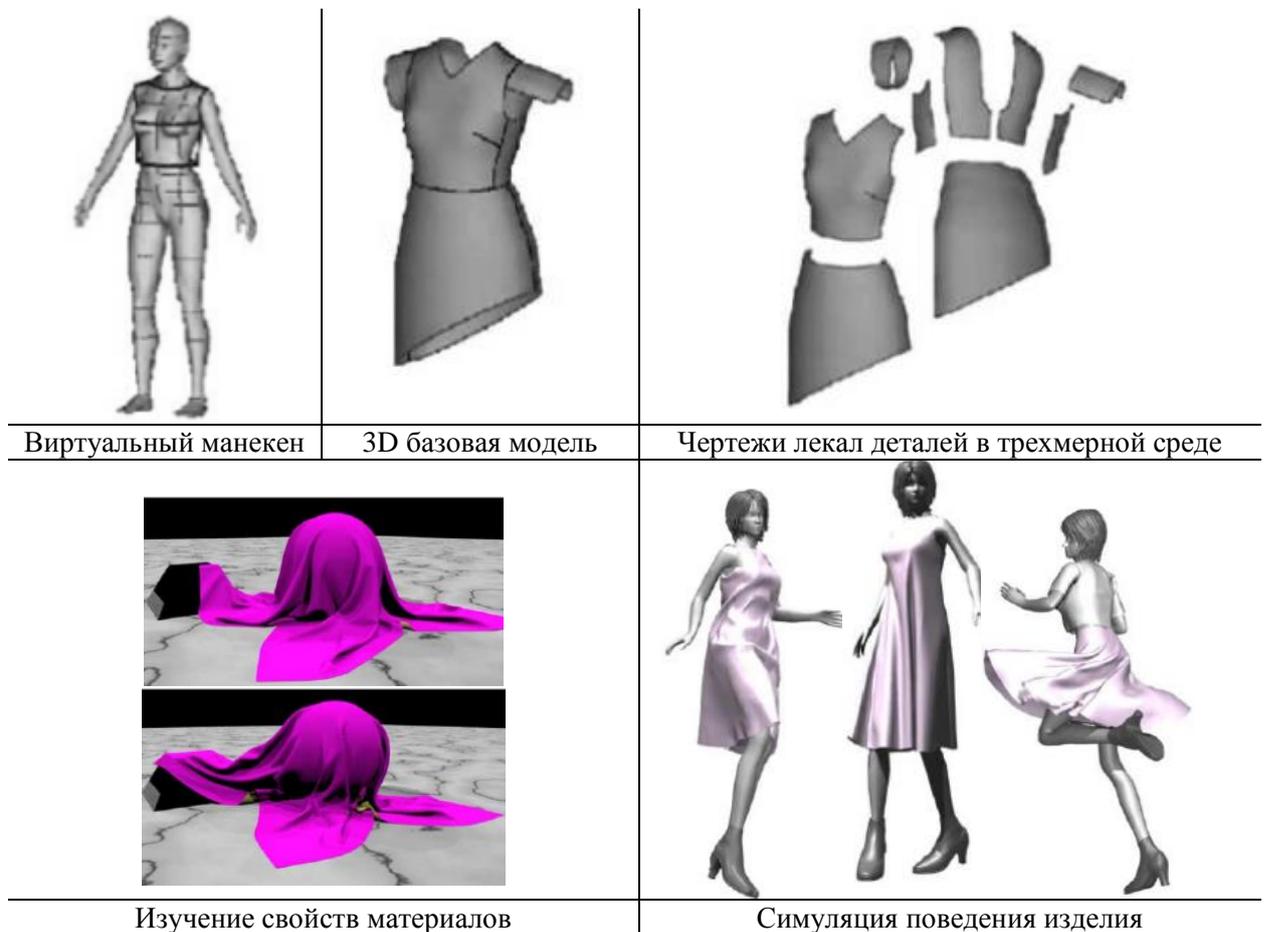


Рисунок 2.25 – 3D моделирование реалистичного поведения ткани в одежде на фигуре человека [366].

Японскими исследователями Т. Мацуяма и др. (*Matsuyama T., et al., 2004*) из Киотского университета также предложен способ реконструкции динамической 3D модели человека из нескольких видеоизображений с высокой точностью отображения цвета и текстуры поверхности одежды [413].

В последние годы глобализация формирует высоко конкурентную среду в швейной отрасли и повышает важность сокращения сроков выхода на рынок новой продукции, поэтому С. Азерниковым из Принстонского университета и А. Фишером из Израильского технологического института Технион (*Azernikov S., Fischer A., 2008*) для ускорения проектно-производственного цикла изделий предлагается использовать технологию «обратного проектирования» или «реверсного инжиниринга» (*reverse engineering technology*), которая позволяет быстро изучить дизайн

существующих физических объектов, оперативно отсканировать поверхность для получения и обработки дискретных *3D* данных и воспроизвести в несколько измененном виде, чтобы значительно сократить время производства [355].

Исследователем Технологического центра инновационной моды Сеульского университета И. Сул (*Sul I.H.*, 2010) предложен метод комбинирования *3D* деталей одежды, принадлежащих конструкциям разных изделий, аналогично традиционной унификации плоских лекал и использовании одних деталей для конструкций разных изделий. Для объединения разных деталей в одну структуру требовалось предварительное изучение дизайна модели в *3D* виртуальной среде (рис.2.26). Введена новая процедура дополнительного отдельного наименования для каждой из вершин и срезов деталей конструкции. Если для аналогичных срезов деталей возможна идентичная швейная операция по технологической обработке, то детали из разных конструкций одежды могли быть объединены при *3D* моделировании изделия при условии контроля и корректировки длин их контуров. Пограничные зоны деталей конструкции представлялись в виде *полигональной сетки (Polygon mesh)*, определяющей форму поверхности в *3D* моделировании как набор вершин, ребер и граней, под которым объем только подразумевался, поэтому число граничных вершин сетки регулировалось с помощью *B*-сплайнов для того, чтобы объединить срезы деталей различной длины. Таким образом, детали одежды различных стилей и комплектов могут комбинироваться в трехмерной среде так же, как и детали чертежей плоской конструкции, при этом могут быть объединены даже детали с различными длинами сторон с помощью использования контрольного шаблона сетки и функции *B*-сплайна [443]. В 2005 г. профессорами Миланского политехнического университета М. Фонтана, С. Рицци, У. Кугини (*Fontana M., et al*, 2005) предложен метод *3D* САПР одежды швейных изделий с высокой точностью виртуального отображения формообразования ткани и решением задач оценки качества.

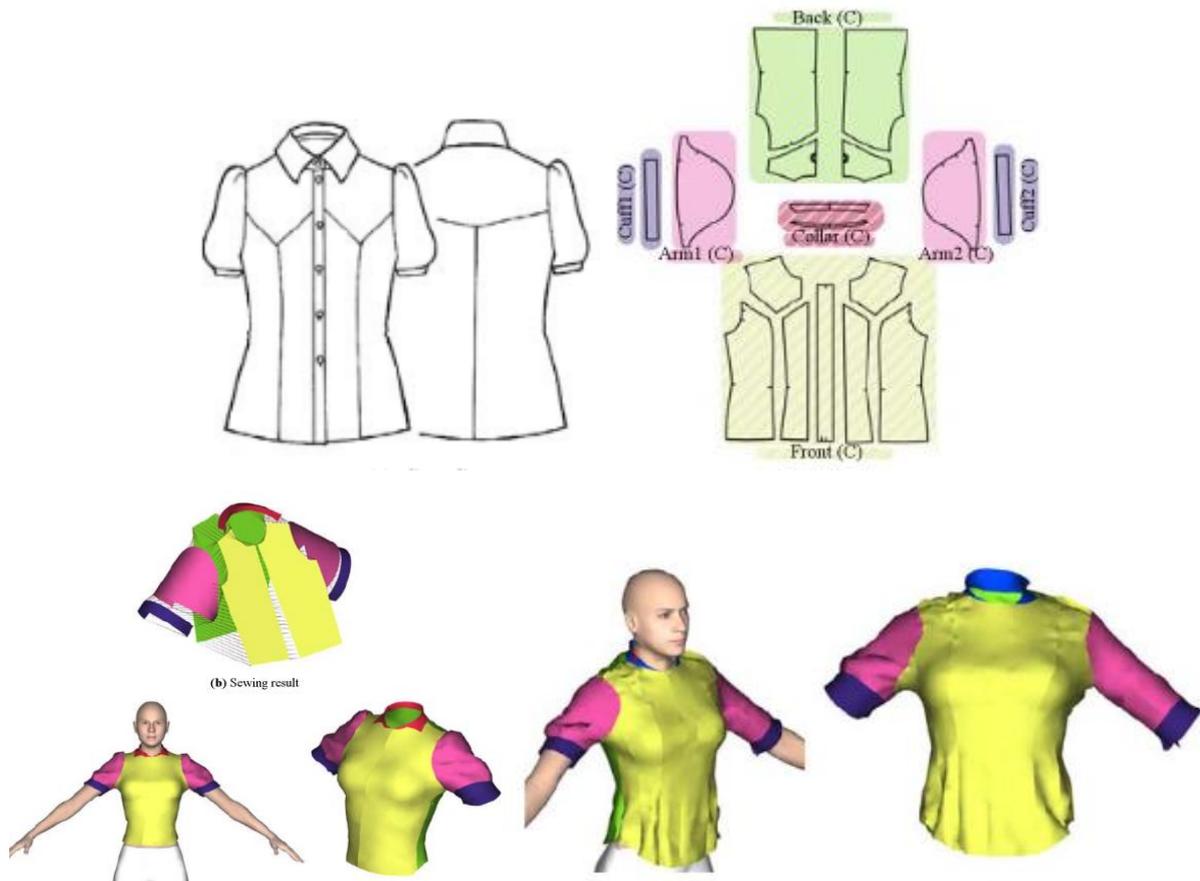


Рисунок 2.26 – Виртуальное комбинирование деталей различных конструкций в одном изделии [443]

При проектировании новых изделий специалист может корректировать стиль дизайна на основе виртуальных прототипов одежды (*garment virtual prototypes*) и их последующего моделирования. Внешняя форма проектируемого изделия прогнозируется с учетом известных свойств материалов и симулирования их поведения на фигуре на основе теории частиц и динамики Ньютона в области управления столкновениями, что облегчает виртуальное проектирование сложных форм поверхности одежды. Предлагаемый метод автоматизированного 3D проектирования применим как для мужской, так и для женской одежды, и предполагает мониторинг процесса дизайна, в том числе: создания декоративных элементов (*panel sewing*), подбор кнопок/ пуговиц, многослойного пакета материалов (*multi-layered fabric composition*), аксессуаров и др. (рис. 2.27) [374].

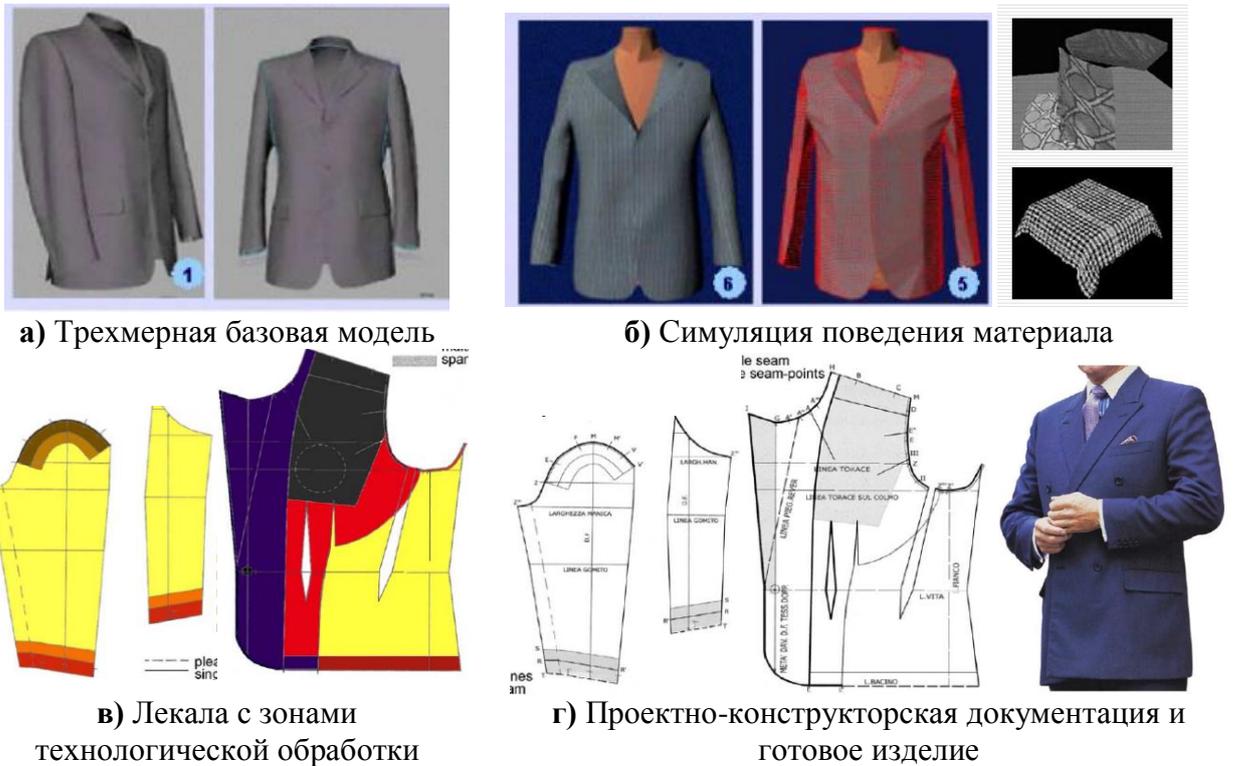


Рисунок 2.27 - Применение 3D моделирования в промышленном изготовлении мужских пиджаков [374]

Представленные в исследовании современные подходы к симулированию поведения материалов в одежде систематизированы в виде классификации (рис.2.28).



Рисунок 2.28 – Классификация методов симулирования поведения материала

Следует отметить, что представление трехмерной внешней формы швейных изделий в существующих на мировом рынке САПР одежды достаточно условно и не соответствует фактической форме изготовленных из различных материалов швейных изделий, одетых на фигуры различного телосложения. Это обусловлено недостаточной изученностью влияния особенностей телосложения человека, свойств используемых материалов, выбранных методов конструирования швейных изделий, динамических изменений конструктивных прибавок при типичной деятельности человека и других факторов на внешнюю форму проектируемой одежды. Кроме того, отсутствие высокотехнологичных современных отечественных разработок по трехмерному цифровому описанию поверхности тела человека не позволяет использовать модуль определения широкого спектра размерных признаков и параметров внешней формы поверхности, построения различных абрисов и сечений фигуры человека и одежды в качестве элемента САПР одежды. При этом зарубежные системы 3D сканирования не предоставляют возможности их модификации и остаются недоступными по стоимости для большинства отечественных производителей одежды.

Современные САПР и позволяют получать 3D модели одежды на виртуальных фигурах и развертки деталей конструкции виртуальных моделей одежды, тем не менее, несмотря на высокий уровень визуализации изображения и реалистичность представления человеческих фигур, степень соответствия представления визуального трехмерного образа проектируемого изделия фактической внешней форме изготовленного в промышленных условиях образца недостаточна для проведения объективной оценки качества его посадки и запуска новых 3D моделей проектируемой одежды в производство.

2.3. Анализ методов оценки достоверности представления и качества посадки внешней формы одежды в современных САПР

Одной из важных составляющих процесса познания многомерных объектов окружающего мира является *зрительное восприятие*,

представляющее собой активное изучение объекта, его визуальную оценку, отбор существенных черт, их анализ и сопоставление со следами памяти для организации целостного визуального образа (Р. Арнхейм, 1974) [30]. Интеллектуальный характер визуального восприятия базируется на логических категориях (А.Моль, 1966; В.П. Зинченко, Н.Ю. Вергилес, 1969; В.Н. Баушев, А.В. Зубакова, 1990), что и обуславливает выделение существенных особенностей визуально воспринимаемого виртуального образа в качестве критерия оценки $2D$ и $3D$ модели проектируемого изделия (С.Н. Беляева-Экземплярская, 1996; В.М. Розин, 2012) [108, 35, 63, 141]. Проектно-конструкторская деятельность носит творческий характер, поэтому оценка ее результатов требует инженерно-психологического обеспечения [184]. Одежда не относится к классу объектов, требующих высокой инженерной точности, поэтому ее оценка традиционно осуществляется на основе визуального опыта, интуиции и логического мышления проектировщика. Суждения специалистов позволяют частично компенсировать недостаток информации и использовать индивидуальный и коллективный опыт, который аккумулирует в себе долгосрочный процесс накопления в сознании разработчиков эмпирических знаний и научно-технической информации [52].

Для оценки проектируемых изделий и их трехмерных визуальных образов ($3D$ моделей) применяются экспертные методы, рассмотренные Э.П. Райхманом, Г.Г. Азгальдовым (1974), Р.П. Повилейко, Т.В. Рябушкиным, И.Б. Гутчиным, Т.А.Кудриной (1977), С.Д. Бешелевым, Ф.Г. Гурвич (1980), А.И. Орловым (2009) и включающие комплекс логических и математико-статистических процедур, направленных на получение от специалистов качественной и количественной информации, обработка которой позволяет прийти к рациональному решению [132, 24, 116, 37, 150, 170, 115, 117]. Экспертные методы применяют в ситуациях, когда выбор, обоснование и оценка последствий решений не могут быть выполнены на основе точных расчетов.

Процедура проведения процесса оценки, основанная на мнении специалистов для принятия решения может опираться как на мнения отдельных экспертов, независимых друг от друга (в индивидуальной форме), или на совместное мнение экспертов (в коллективной форме). В качестве способов экспертной оценки одежды используют: *метод ассоциаций* как сравнение изучаемого объекта с другим, имеющим сходные свойства (сравнение с качеством образца-эталона); *метод бинарных сравнений* как выбор предпочтительного варианта из двух альтернативных (формирование ассортимента продукции из разработанной дизайнерами промышленной коллекции); *метод предпочтений* как анализ набора альтернативных вариантов и выбор предпочтительных (выбор моделей-аналогов из базы данных); *экспертный опрос* как анализ интервью или индивидуальных ответов на вопросы анкет (формирование обобщенной оценки поставленной задачи).

Для проведения процедуры оценки необходимо четко определить ее цель и сформулировать вопрос при конкретизации существующих ограничений (по стоимости, трудоемкости объекта и т.п.) и планируемой точности оценки. Оценка может проводиться в очной и заочной форме, за один этап или несколько итераций; генерировать решения или представлять оценивающие умозаключения; давать качественную, количественную по относительной или абсолютной шкале или ранжирующую оценку объекта; с получением непосредственного результата или требовать последующего анализа; с различным количеством привлекаемых экспертов (обычно до 12 специалистов). Известны такие методы экспертных оценок, как метод Дельфи, мозговой штурм и метод анализа иерархий. Привлекаемые эксперты должны иметь опыт в исследуемой области, но не быть лично заинтересованными. Обработка результатов оценки требует: подтверждения компетенции экспертов; определения обобщенной оценки; подготовки ранжирования результатов, если оцениваются несколько объектов или существуют альтернативные решения; определения согласованности мнений

экспертов (для утверждения результатов или признания их ничтожными); определения ошибки исследования; проведения анализа результатов и составления отчёта. Экспертная оценка качества проектного решения одежды может проводиться с помощью анкетирования путем первоначального расположения признаков внешнего вида изделия в порядке значимости и последующего расчета значимости параметров, степени согласованности ранговых оценок и коэффициента конкордации для оценки степени согласованности мнений экспертов по нескольким критериям [286, 90, 57].

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) [109, 75, 100, 134, 135, 129, 128, 102, 195, 146, 188, 167, 143, 206, 292, 242, 243]. Следует отметить и ряд зарубежных ученых - М. Мюллер, Дж. Фэн, В. Ю, Л. Хантер, Дж. Грунди (*J., et al.*, Британский текстильный институт, 2004; *Grundy J.*, Австралийский технологический университет Суинберн, 2008) [92, 318].

В отношении качества швейных изделий в настоящее время действует ряд государственных стандартов, посвященных системе и номенклатуре показателей качества (2001) [9], определению дефектов швейных изделий (1991) [6], методам контроля качества (2011) [10] и управлению качеством (2012) [21].

Целью проведения процедуры оценки качества одежды является:

- ❖ установление *корректности соответствия* изготовленного образца одежды *техническому заданию*, сформированному для реализации замысла дизайнера, отраженного в эскизе проектируемого изделия;
- ❖ определение *уровня соответствия* проектного решения *эталону*, в качестве которого производителем или заказчиком могут быть выбраны образцы-аналоги, технические условия предприятия, требования отраслевых или государственных стандартов.

В основе российской методологии оценки качества проектных решений швейных изделий лежит оценка качества посадки одежды на фигуре человека, базирующаяся на предложенном в 1979 г. Н.А. Рахмановым и С.И. Стахановой (МТИЛП) способе выявления дефектов посадки в зависимости от сил, нарушающих структуру ткани или вызывающих возникновение складок и морщин, в пределах выделенных конструктивных полос или деталей изделия [134]. С тех пор конструктивные дефекты принято разделять на шесть основных групп:

- 1) *горизонтальные складки*, образующиеся в результате недостаточной ширины детали в горизонтальном направлении или ее излишней длины в вертикальном;
- 2) *вертикальные складки*, вызванные недостаточной длиной участка детали в вертикальном направлении или ее излишней шириной в горизонтальном направлении;
- 3) *наклонные складки*, образующиеся вследствие недостаточных размеров детали в диагональном направлении, что приводит к действию разнонаправленных сил давления на обуженные участки деталей или к их одностороннему укорочению;
- 4) *угловые заломы* на соответствующем участке детали, вызванные недостаточной выпуклостью или вогнутостью сформованной детали;
- 5) *балансовые нарушения* – результат неправильного определения длины монтируемых деталей или перекосов при их монтаже, что приводит к

нарушению равновесного положения деталей изделия и спиралеобразному перемещению (закручиванию);

б) *дефекты динамического несоответствия*, проявляющиеся только в процессе выполнения человеком определенных видов движений (рис. 2.29).

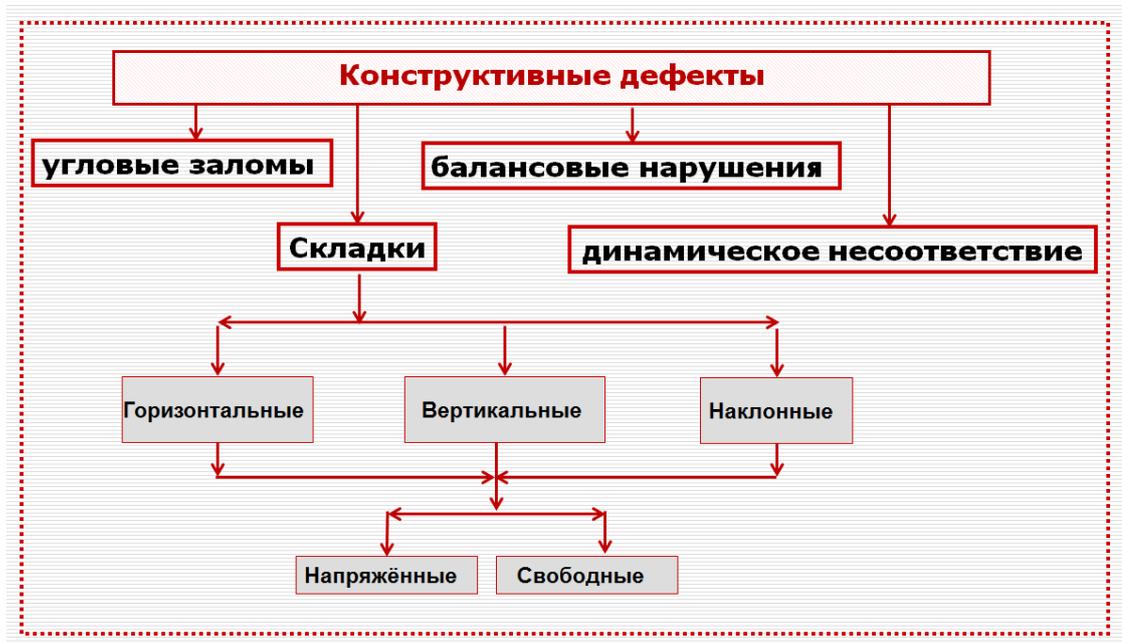


Рисунок 2.29 - Классификация конструктивных дефектов одежды

Наиболее распространенными видами конструктивных дефектов одежды являются напряженные и свободные складки. *Напряженные* складки связаны с заужением участка детали на определенном уровне (вертикальном, горизонтальном или наклонном). Недостаточные размеры детали являются причиной возникновения напряжений ткани и приводят к образованию резких фиксированных морщин и складок. *Свободные* складки образуются на участках деталей одежды с излишней шириной или длиной.

Для исправления дефектов используют конструктивные способы: прямые, когда уточняются размеры детали в месте размещения дефекта, и косвенные, когда перераспределяется ширина детали из одного места в другое. Причины и механизм возникновения конструктивных дефектов обусловлены точками приложения и направлением действия сил, иллюстрируемых внешним видом дефекта, направлением деформации ткани и областью распространения. Анализ дефекта производится по схеме:

внешний вид дефекта → причина возникновения → меры по устранению [72]. Так, *вертикальные свободные* складки возникают при увеличении ширины детали, а *вертикальные напряжённые* складки возникают при недостатке длины детали в вертикальном направлении. Удлинение детали в вертикальном направлении приводит к возникновению *свободных горизонтальных* складок, а недостаток ширины к *напряжённым горизонтальным* складкам. Появление *наклонных* складок обуславливают одностороннее укорочение и перекос детали. Искривление нитей ткани выпуклых и вогнутых участках поверхности фигуры приводит к появлению угловых заломов. Нами предложена классификация возможных причин возникновения складок, выявление которых позволит предложить обоснованный способ их устранения (рис. 2.30) [135].

Долгое время в лёгкой промышленности основным инструментарием для оценки степени соответствия готовых швейных изделий заданному эскизу, качества посадки одежды на фигуру, степени эргономического соответствия, а также для определения показателей, влияющих на зрительное восприятие одежды являлся экспертный опрос специалистов швейных предприятий.



Рисунок 2.30 – Классификация причин возникновения складок как конструктивных дефектов одежды

Методики экспертного опроса оперировали такими субъективными понятиями как «соответствует», «не соответствует», «хорошо», «плохо» «нормально» и т.д., либо использовали балльную оценку, также основанную на субъективных ощущения эксперта, поэтому и не отличались высокой достоверностью, что и привело к поиску исследователями инструментария количественной оценки качества посадки швейных изделий. Среди таких работ можно отметить устройство, предложенное в прошлом веке Е.Б. Кобляковой, В.В. Размахниной и В.И. Коминым (1977) для определения *эргономических показателей качества конструкции* плечевых швейных изделий на фигуре человека, а именно *удобства одежды в динамике* [475]. Объективная количественная оценка удобства изделий при движении человека достигалась благодаря определению величины максимального размаха рук в изделии и без него, а также величины перемещения низа изделия у боковых швов при подъёме рук (рис. 2.31, а).

В 1981 г. в УкрНИШПе А.В. Соколовым и др. было разработано устройство для оценки качества посадки плечевых швейных изделий, изготавливаемых на предприятиях индивидуального пошива, в том числе для оценки качества втачивания рукава в пройму и определения длины и ширины рукава (рис. 2.31, б).

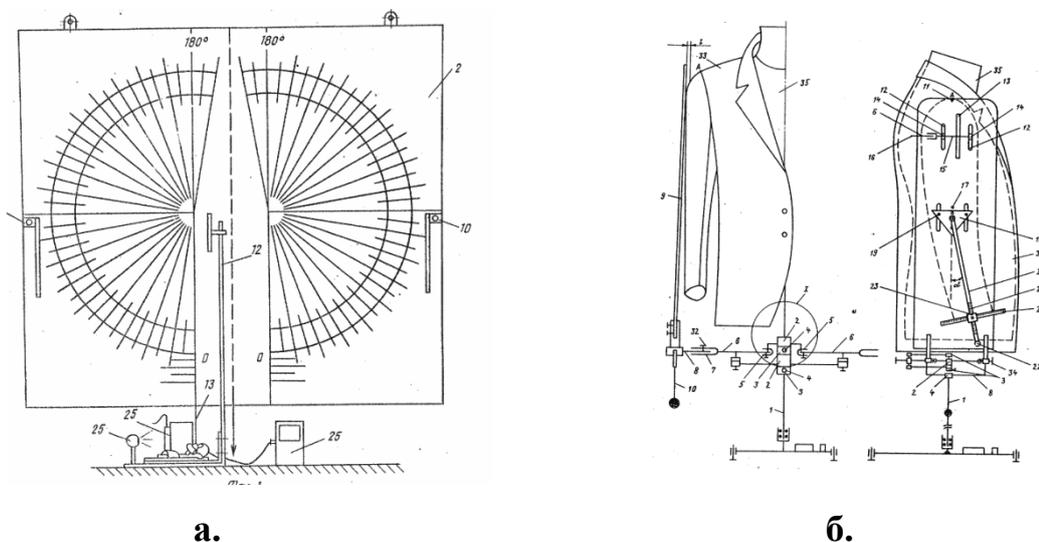


Рисунок 2.31 – Устройства для количественной оценки качества посадки одежды в XX в.: а - МТИЛП, 1977 [475]; б - УкрНИИШП, 1981 [477]

Устройство представляло собой вертикальную стойку с манекеном, окруженным прозрачными пластинами, на которые были нанесены контуры конструктивных линий проектируемого изделия [477]. Следует отметить, что предлагаемые способы отличались высокой погрешностью оценок, так как данные наблюдений за внешней формой изделия сравнивались с калибровкой щитов и линеек, находящихся на расстоянии от объекта. Глобализация, автоматизация и компьютеризация процессов проектирования и изготовления одежды привели к созданию новых визуальных форм отражения этапов разработки швейных изделий, к необходимости *оценивать проектные решения и в удаленном режиме, и в электронном виде*, так как разработчики и производственные подразделения могли находиться в различных регионах, что обуславливает актуальность *формирования эффективного объективного инструментария достоверной оценки* качества проектируемой одежды. Кроме того, с появлением на рынке разнообразных инновационных материалов, технологий и способов конструктивного формообразования изделий первоначальный замысел дизайнера может быть реализован не единственно возможным способом. Таким образом, помимо традиционно стоящей задачи обеспечения надлежащего уровня качества изготовления швейных изделий при отсутствии каких-либо дефектов, особую важность приобретает *обеспечение высокой точности соответствия проектируемых изделий эскизному и техническому заданию*.

Для решения проблемы формирования механизма достоверной оценки качества *2D* конструкций, *3D* моделей и отшитых образцов швейных изделий современные исследования проводятся в нескольких направлениях:

- оценка антропометрического соответствия проектируемых швейных изделий параметрам фигуры человека;
- оценка степени и корректности прилегания одежды к различным участкам поверхности тела человека;
- цветовое отображение уровня давления ткани на поверхность фигуры человека;

- оценка соответствия проекционных зазоров в изделии заданным конструктивным проекционным прибавкам по определенным уровням;
- виртуальная примерка 3D моделей из базы данных промышленной коллекции швейных изделий на виртуальном манекене или аватаре фигуры потребителя;
- выявление потенциальных конструктивных дефектов 3D моделей проектируемого изделия, причин их возникновения и внесение изменений в 2D конструкцию;
- оценка соответствия проектируемого изделия заданному техническому эскизу;
- симуляции поведения поверхности одежды при движении индивидуальной фигуры человека для оценки ее внешней формы;
- визуализация качества посадки проектируемых образцов одежды, выполненных из различных материалов;
- применение систем трехмерного сканирования для оценки качества посадки готовой одежды.

Японскими изобретателями (*Koyama S. et al.*, 2005) разработана система проектирования лекал плотно облегающей одежды на основе информации о размерах, форме выбранной фигуры и макета одежды (рис. 2.32).

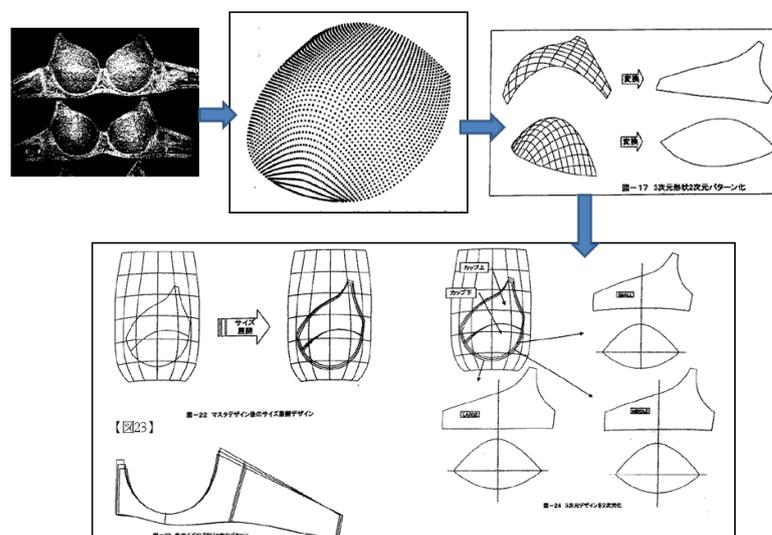


Рисунок 2.32 Японская система 3D проектирования и оценки качества посадки плотно облегающей одежды [497]

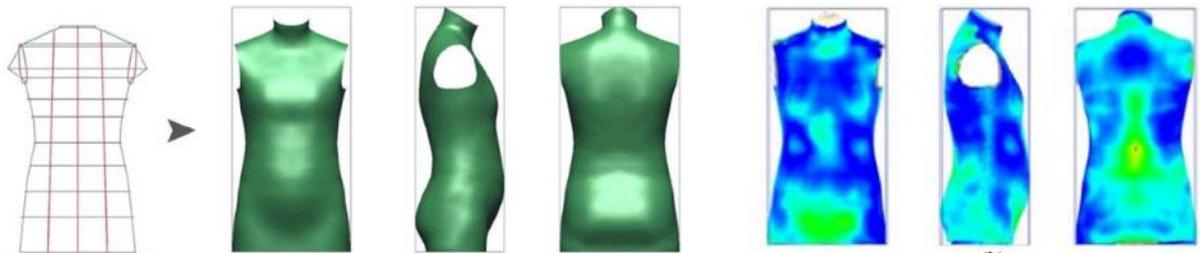
После *3D* сканирования макета изделия, одетого на заданную фигуру, получают *3D* модель, по которой определяют трехмерные координаты точек поверхности одежды, чтобы получить развертку плоских конструкций деталей изделия [497,]. Особенностью системы является возможность *оценки антропометрического соответствия конструкции* плотно облегающей одежды и ее пространственной формы заданной фигуре человека.

Разработанные американскими и корейскими учеными (*Park S.M., et al., 2011*) манекены для фигур типового и нетипового телосложения (см. рис. 1.18) применяются для оценки качества посадки промышленных образцов одежды различных видов благодаря возможности модификации их формы в соответствии с изменением поверхности полигональной сетки, задающей внутреннюю форму проектируемых изделий: пальто, жакетов или корсетных изделий (рис. 2.33). Данный подход основан на использовании данных *3D* сканирования фигур человека для *3D* моделирования индивидуальных виртуальных манекенов и одежды различных видов и для *виртуальной оценки степени соответствия проектируемой формы одежды антропометрическим параметрам* фигуры.

В области оценки *достоверности представления виртуальных фигур человека (манекенов) фактическим антропометрическим параметрам индивидуальных потребителей* следует отметить разработку 2013 г. исследователей Института текстиля и одежды Гонконгского политехнического университета Ш. Чжу и др. (*Zhu S., et al., 2013*) метода саморегулируемой настройки модели под заказчика (*an intelligent model customization method*), предполагающего возможность реконструкции характеристик фигуры потребителя по его ортогональным фотографиям [469]. Предложено описывать форму человеческого тела многоуровневой структурой геометрических характеристик и кривых, определяющих параметры внешней формы проектируемой одежды и отражающих взаимосвязь *2D* проекций фигуры и ее *3D* модели.

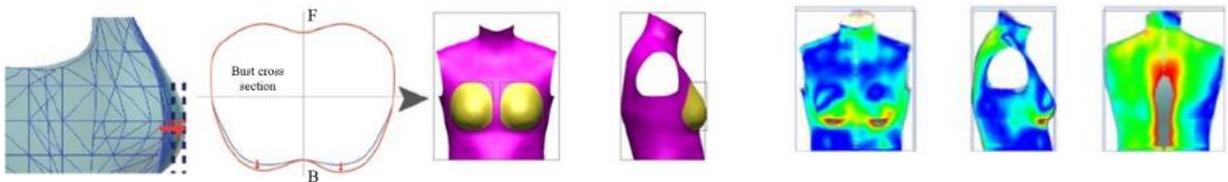


Выбор виртуального манекена на основе данных трехмерного сканирования



Модификация манекена для проектирования жакета

Контроль соответствия



Модификация манекена для корсетного изделия

Контроль соответствия

Рисунок 2.33 – Виртуальная оценка соответствия внутренней формы проектируемых изделий антропометрическим параметрам индивидуальной фигуры потребителя

По фотографии фигуры потребителя предлагается выбрать из базы подходящий виртуальный манекен, в большей степени соответствующий данным фигуры по совпадению поперечных сечений. Цветовая интерпретация виртуального совмещения выбранного виртуального манекена и 3D модели фигуры, полученной 3D сканированием, представлена на рисунке 2.34.

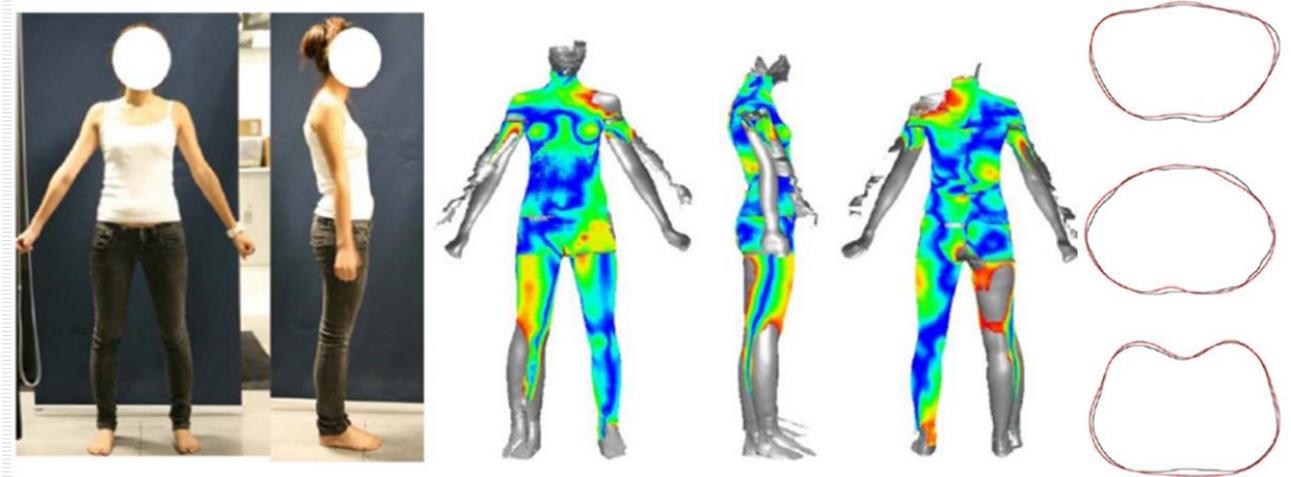


Рисунок 2.34 - Оценка соответствия выбранного для проектирования одежды виртуального манекена данным трехмерного сканирования фигуры человека [469]

Однако, достоверность проведенного сравнения данных виртуальных 3D моделей вызывает сомнения, так как они выполнены в разных системах и опираются на координаты различных точек поверхности, поэтому можно говорить о применимости этого метода в системе онлайн-продаж, но не для решения задач инженерного проектирования швейных изделий.

Учеными из гонконгских университетов Ю. Мэнгом и др. (*Meng Y. et al.*, 2010) утверждается, что автоматизированная примерка проектируемых изделий (*interactive virtual try-on clothing*) остается наименее проработанной частью САПР одежды. Ими предложены теоретические принципы оценки качества посадки одежды на основе выделения выпуклых и вогнутых зон поверхности тела человека. Именно эти зоны определяют формирование внешней формы одежды за счет *контакта фигуры и изделия*, а также за счет заданных конструктором проекционных зазоров [414]. Построение 3D модели одежды осуществляется интерактивно в реальном времени, включая выбор структуры ткани, виртуальное изготовление изделия, имитацию динамического поведения ткани в одежде и интеграцию проектных решений (рис. 2.35). Данная разработка является важным шагом в поиске алгоритмов отражения реалистичного поведения одежды на фигуре человека и адекватной виртуальной оценки качества ее посадки.



Рисунок 2.35 – Реалистичная виртуальная примерка 3D моделей проектируемых изделий с учетом кривизны поверхности фигуры и свойств материала [414]

Модуль 3D проектирования и оценки качества посадки одежды «Plasma» представлен в САПР одежды «Creazione» итальянской компании «Crea Solution Srl» и позволяет трансформировать плоские лекала в 3D модель проектируемого изделия, а затем оценивать качество его посадки на 3D манекене, который либо выбирается из базы виртуальных фигур, либо импортируется в САПР из системы 3D сканирования тела человека (рис. 2.36) [560]. Подобная оценка качества посадки носит достаточно условный характер, так как отражает только зоны максимального прилегания проектируемого изделия к фигуре.

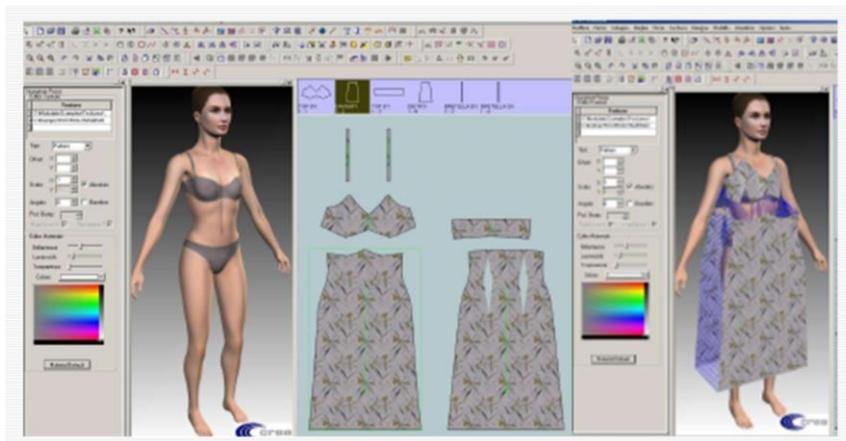


Рисунок 2.36 - Виртуальная примерка проектируемого изделия в САПР одежды «Creazione» [560]

В САПР одежды «Assyst» немецкой компании «Assyst Bullmer» представлен модуль трехмерного проектирования одежды «Vidya», имеющий ряд инструментов для корректировки 3D модели проектируемого изделия вследствие изменения плоских лекал, а также модуль «Distance-Mode», предназначенный для оценки степени прилегания проектируемого изделия к различным участкам виртуальной фигуры, иллюстрируемой на экране монитора более темным цветом для большего прилегания, и более светлым – для большего отставания изделия от тела (рис. 2.37) [558].

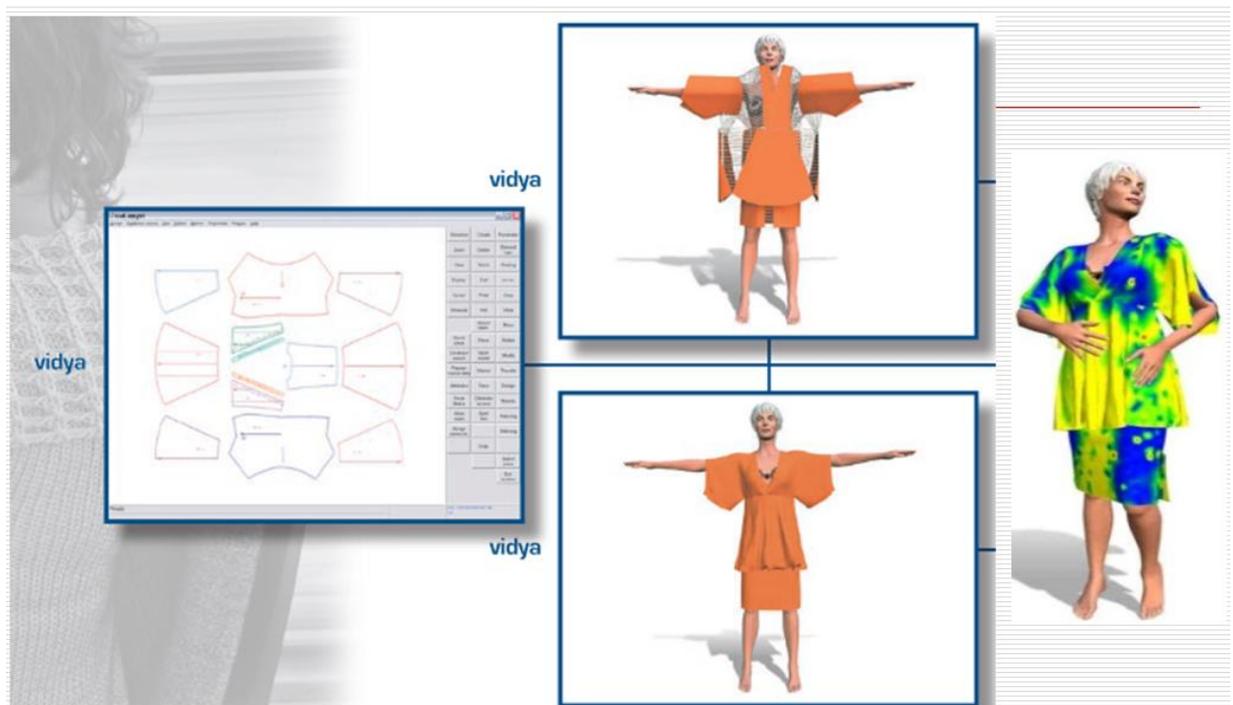


Рисунок 2.37 – Оценка степени прилегания 3D модели изделия к виртуальной фигуре в САПР одежды «Assyst Vidya» [558]

В этом направлении реализована 3D САПР одежды компании «Browzwear International Ltd», включающая модуль шивания плоских лекал (VStitcher), модуль моделирования формы поверхности фигуры (VStyler) и модуль виртуальной примерки изделия в 3D пространстве (Simulation), позволяющий оценить посадку одежды по уровню давления ткани на 3D манекен, автоматически выделяемому цветом и рассчитываемому по разработанной цветовой шкале (рис. 2.38) [552].

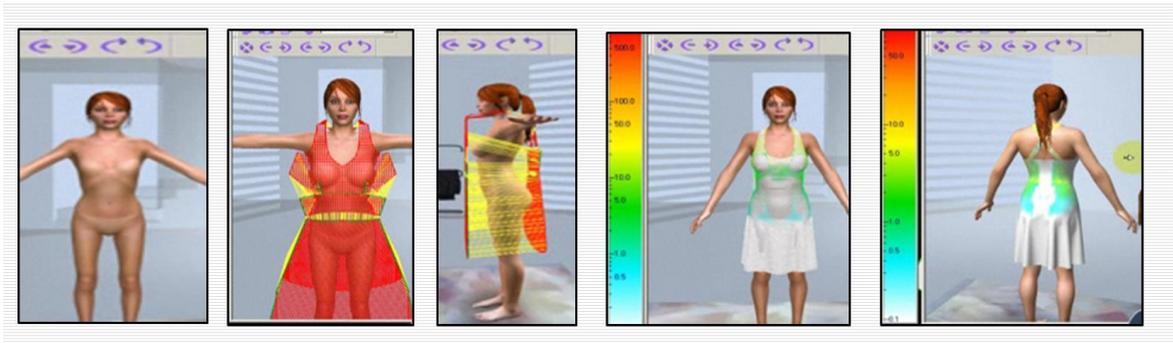


Рисунок 2.38 – Оценка качества посадки виртуальной модели изделия по уровню давления на 3D манекен фигуры человека в соответствии с его отражением по цветовой шкале [552]

Этот же принцип оценки качества посадки разрабатываемых изделий на 3D виртуальном манекене реализован в САПР одежды «*i-Designer*» корейской компании «*Technoa Inc*» [554]. На рисунке 2.39 представлен автоматизированный процесс виртуальной оценки качества посадки разработанного изделия по давлению ткани на поверхность тела с помощью цветовой схемы и отражение ориентации поверхности одежды относительно поверхности 3D манекена в трансверсальных сечениях, показываемых в отдельном окне.

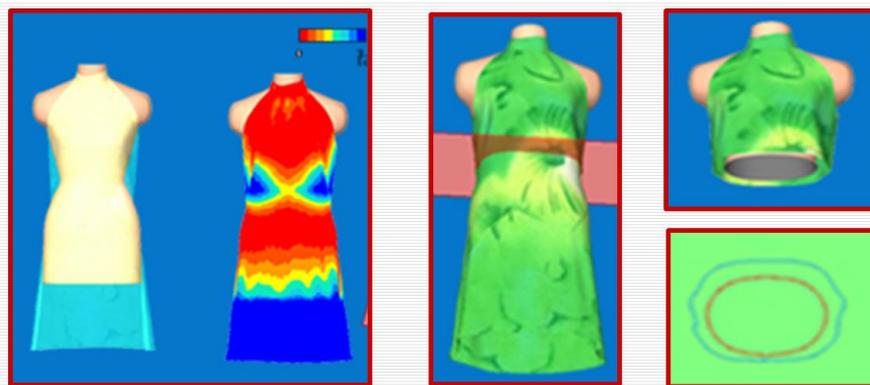


Рисунок 2.39 Виртуальная оценка качества посадки одежды на 3D манекене по давлению ткани в САПР одежды «*i-Designer*» [554]

Определение точного уровня давления одежды на тело человека приобретает особенно важное значение для оценки качества проектирования плотно прилегающей одежды, в том числе из высокорастяжимых эластичных материалов. В 2013 г. южно-корейскими учеными из Департамента швейных и текстильных изделий Чунгнамского национального университета (*Lee Y., Hong K., 2013*) предложен метод бесконтактного измерения давления одежды на тело человека одновременно на различных участках путем анализа 3D

деформаций ячеек сетки, напечатанной на одежде, что является альтернативой применению датчиков давления, отражающих только точечную информацию и со значительной погрешностью. Давление одежды определяется путем анализа прочности при растяжении и данных о кривизне сторон *3D* деформируемых ячеек на поверхности одежды. Таким образом, могут быть определены участки максимального давления и растяжения материала, направления основных напряжений и радиусы кривизны конструктивных линий с помощью данных *3D* визуализации одежды на фигуре человека [397].

Современное развитие информационных технологий позволило ученым с высокой точностью изучать внешнюю форму одежды и качество ее посадки на фигуре с помощью различных технических устройств. Американскими исследователями Корнельского университета С. Локером и др. (*Loker S. et al., 2005*) изучалась внешняя форма нижней опорной поверхности тела и ног человека, одетого в брюки, с применением *3D* сканирования. При этом качество посадки брюк оценивалось с помощью кластерного анализа путем статистического упорядочивания сечений *3D* моделей ног и внешней формы брюк в сравнительно однородные группы. Последующая виртуальная оценка качества посадки изучаемых брюк на выбранных виртуальной нижней опорной поверхности фигуры человека проводилась путем совмещения одноименных сечений и *расчёта величин проекционных зазоров между поверхностью ноги и брюк* [404].

Исследователями Шанхайского университета Донхуа Дж. Су и др. (*Хи J.H. et al., 2008*) с помощью *3D* сканера изучалось влияние изменения конструктивных прибавок по линии груди на вариабельность проекционных зазоров между поверхностью фигур различных размеров и одежды различных стилей [373]. С помощью методов наименьших квадратов и кубических полиномов проведен анализ контуров горизонтальных сечений фигур и одежды и определены их площади при изменении конструктивных прибавок к соответствующим обхватам. При увеличении величины прибавки

по линии груди ее распределение на переднем и заднем участках сечения оставалось стабильным, при максимальном изменении в боковой части изделия. Отмечена линейная зависимость величины проекционного зазора между поверхностями фигуры и одежды от величины конструктивной прибавки по линии груди. Предложены критерии оценки внешней формы одежды на основе выявленных регрессионных зависимостей силуэта от конструктивной прибавки по линии талии (рис. 2.40), а также метод оценки качества посадки проектируемого изделия на фигуре с помощью *сравнения величин проекционных зазоров между фигурой и одеждой на уровнях груди и талии*.

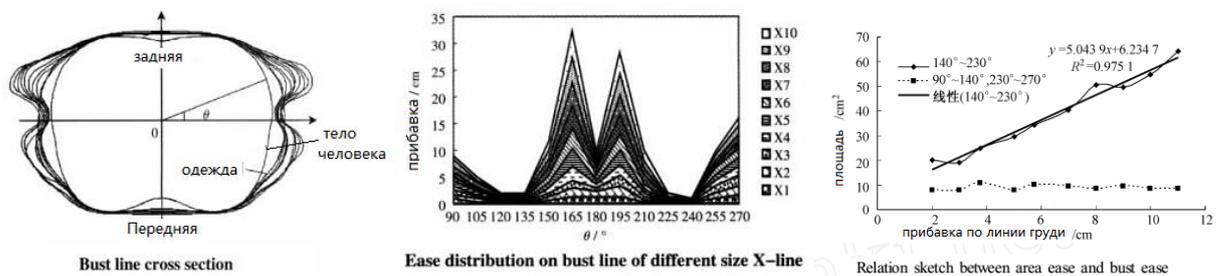


Рисунок 2.40 – Вариабельность проекционных зазоров в одежде при изменении величины конструктивной прибавки по линии груди [373]

Теплоемкость, гигроскопичность и воздухопроводность одежды зависят не только от свойств ткани, но также от толщины воздушных прослоек и площади соприкосновения тела с одеждой. Измерение этих параметров проведено исследователями Швейцарской федеральной лаборатории материаловедения и технологии и Лодзинского технического университета (*Psikuta A. et al., 2012*) для типичных плотно облегающих и свободных изделий, плечевых и поясных изделий, из различных материалов (трикотажа и ткани) с помощью *3D сканирования раздетого и одетого манекена* для определения расстояния между их поверхностями после обработки полученных результатов. Полученные данные распределения толщины воздушной прослойки вокруг тела человека важны для прогнозирования теплообмена одетого человека и проектирования теплозащитной одежды. Для оценки и корректирования в виртуальном пространстве показателей теплового состояния человека в одежде

китайскими разработчиками Л. И и др. (Yi L., et al., 2006) представлена САПР одежды для проектирования функциональной теплозащитной одежды, позволяющая дизайнерам и конструкторам итеративно улучшать теплозащитные характеристики изделия [463].

Китайскими изобретателями компании «Тенсент технолоджи» (С. Гу и др., 2008) в России защищен «способ отображения трехмерного аватара», то есть небольшого статичного изображения, отображающего человека таким, каким он представляет себя [510]. У пользователя системы есть возможность удаленного просмотра 3D моделей фигур (аватаров) в режиме реального времени и выбора наиболее похожей на себя. Для дальнейшей оценки посадки различных образцов одежды на 3D аватаре фигуры пользователя можно выбрать из архивного файла хотя бы одну 3D модель изделия и отобразить внешний вид одежды на фигуре (рис. 2.41). Сервер и система отображения аватаров и образцов одежды имеют возможность мгновенного обмена сообщениями, поэтому на экране удаленного пользователя могут оперативно демонстрироваться различные персональные образы, благодаря виртуальной примерке на аватаре различных трехмерных изделий по желанию клиента.

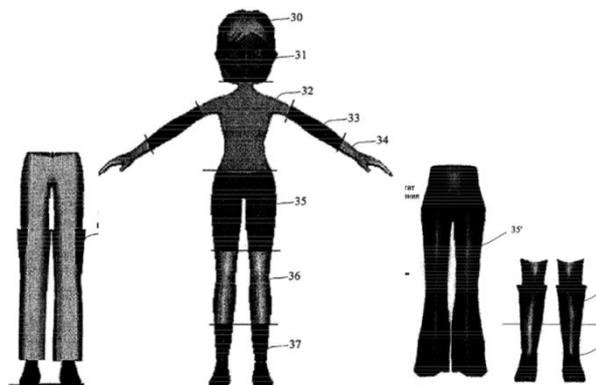


Рисунок 2.41 – Виртуальная примерка выбранной модели брюк на трехмерном аватаре фигуры пользователя [510]

Проблема достоверности представления внешней формы одежды в современных САПР связана с недостаточностью исходной информации или сложностью ее получения, для задания или воспроизведения точной

трехмерной формы, поскольку 3D проектирование одежды находится в стадии развития, а критерии адекватности представления виртуального образа фигуры и одежды определены не достаточно точно. Учеными из Миланского политехнического университета (*Cugini U., et al., 2008*) предложена концепция виртуального прототипирования швейных изделий, объединяющая различные этапы процесса проектирования одежды на основе 3D модели проектируемой одежды как универсального ориентира. Виртуальный прототип аккумулирует различные аспекты проектируемого изделия: форму, внешний вид, технологичность, напряжение, физическое поведение и др., характеристики которых могут быть однозначно формализованы и моделируемы, обеспечивая интеграцию взаимосвязей всех аспектов продукта [369].

Американскими исследователями (*Kozar J.M., Damhorst M.L., 2009*) установлена взаимосвязь между ощущением удовлетворения своей внешностью и представлением респондентов об идеальной внешности (чаще всего модельной), при этом чем старше женщина, тем менее значима эта зависимость [394]. Этим обусловлено желание значительного количества потребителей выбирать себе для примерки одежду неподходящего размера или виртуальный манекен с более привлекательной формой тела для осуществления онлайн-покупок одежды.

Для снижения процента возврата одежды, купленной через Интернет и не удовлетворившей покупателей качеством посадки, бельгийскими исследователями (*Daanen H.A.M., Buyoet M.B., 2011*) предложен метод корректировки субъективных данных потребителей об обхватах талии, бедер и длины руки, предназначенных для онлайн-покупки одежды. Благодаря интерактивному запросу дополнительной информации о возрасте, росте, весе, обхвате груди и размере бюстгалтера и эмпирически установленной зависимости между этими характеристиками предоставленная потребителем информация может корректно изменяться, что положительно влияло на выбор более подходящей покупателю одежды [370]. Хотя данный метод

может быть адаптирован к программному обеспечению сайтов производителей одежды, несомненно предоставление цифрового отображения фигуры потребителя, полученного в результате 3D сканирования обеспечило бы более адекватную информацию для онлайн-продаж выпускаемой одежды.

.В 2011 г. компанией «*Lectra*», широко внедрившей свое оборудование в швейной промышленности, запатентована система *трехмерной виртуальной примерки одежды на аватаре* [520]. Примерка осуществляется на заранее созданных виртуальных моделях фигур, выбираемых из базы данных в соответствии с индивидуальными размерными признаками. В системе хранится большая база моделей одежды, которая может дополняться изделиями, разработанными на размеры индивидуальных фигур, новыми деталями конструкции или декоративными элементами. При проведении виртуальной примерки на аватаре фигуры потребителя вводятся основные характеристики ткани, чтобы учесть поведение ткани и драпировку отдельных деталей на фигуре.

Следует отметить низкое качество подобия получаемых «аватаров» реальным параметрам тела человека, поэтому можно говорить о применимости подобных систем как инструмента содействия онлайн-продаж продукции на сайтах производителей, но не для оценки качества посадки проектируемых швейных изделий.

Учеными Техасского университета в Остине Б. Су и Ю. Чжунюном (*Хи В., Zhong Y., 2003.iii*) предложен метод визуализации 3D конфигурации проектируемого изделия, одетого на цифровую модель поверхности конкретной фигуры потребителя, путем преобразования 2D лекал деталей одежды. Для имитации топологической структуры и физических свойств поверхности авторами выбрана пружинно-массовая модель (*mass-spring model*), позволяющая автоматически корректировать структуру сетки поверхности. Для осуществления 2D→3D трансформации используется метод адаптивного силового поля (*adaptive force-field method*), позволяющий

в 3D виртуальной среде осуществить примерку, оценку и корректировку образца одежды на фигуре потребителя [460].

В этом направлении проводятся самые современные исследования, в том числе в Калифорнийском государственном университете Д.-Ю. Кимом и в Университете Миннесоты К. ЛаБат (*Kim D.-E., LaBat K., 2013*), изучающими удовлетворенность потребителей технологией 3D виртуальных примерок в Интернет-магазинах. В результате опроса респондентов после имитации покупок в Интернете с использованием виртуальных 3D моделей собственных фигур, полученных в результате 3D сканирования, участниками было высказано мнение о достаточности зрительной информации от виртуальной модели для проведения примерки и оценки качества одежды при онлайн-покупках, а также подтверждена готовность использовать эту технологию в будущем. Однако респондентами были также выражены опасения по поводу конфиденциальности личных данных, доступности технологии, а также отмечен дискомфорт от просмотра собственного отсканированного тела [392].

Выявлять силы, вызывающие появление дефектов изделия, удобнее на ткани в полоску или клетку, где хорошо заметно, как нити основы отклоняются от заданного конструкцией направления. Эта особенность ткани использована учеными Гонконгского научного технологического университета (*Luo Z. et al, 2005*) для имитации поведения материала в 3D пространстве с помощью лекал с нанесённой сетчатой структурой, позволяющей наглядно увидеть зоны, в которых требуется проводить корректировку по результатам примерки [405]. На рисунке 2.42 отражена последовательность устранения дефекта расширенной линии горловины путём учёта действующих сил растяжения и перекоса в области шеи и груди. Таким образом, именно подход *выявления потенциальных конструктивных дефектов* лежит в основе предлагаемого алгоритма оценки 3D модели проектируемого изделия (*3D garment simulation*) после внесения изменений в его конструкцию.

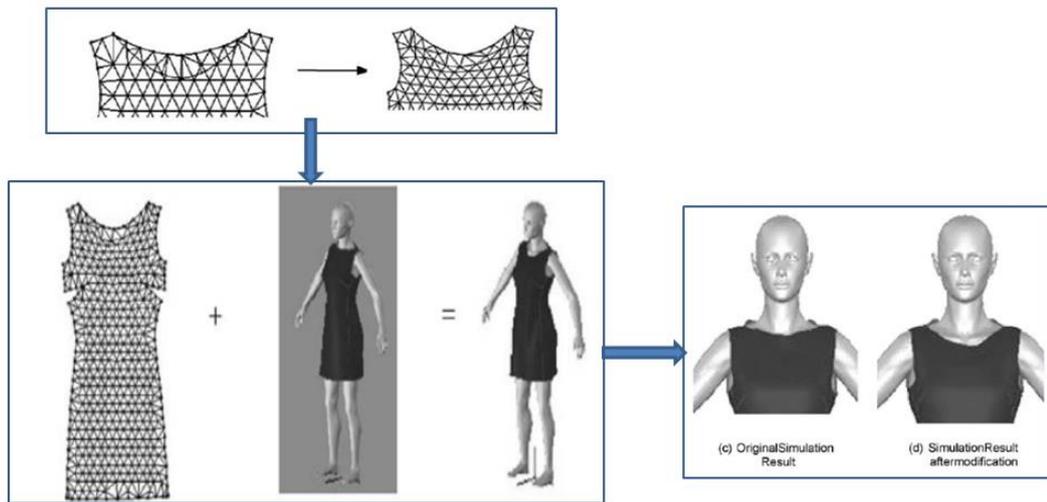


Рисунок 2.42 - Устранение дефектов посадки в области горловины [405].

Устранение конструктивных дефектов в *3D* модели проектируемого изделия возможно реализуется в модуле виртуальной примерки «*Modaris 3D Fit*» компании «*Lectra*». Виртуальный прототип позволяет достаточно точно представить посадку изделия благодаря анализу связей между участками кроя и информации о материалах (рис. 2.43) [555].

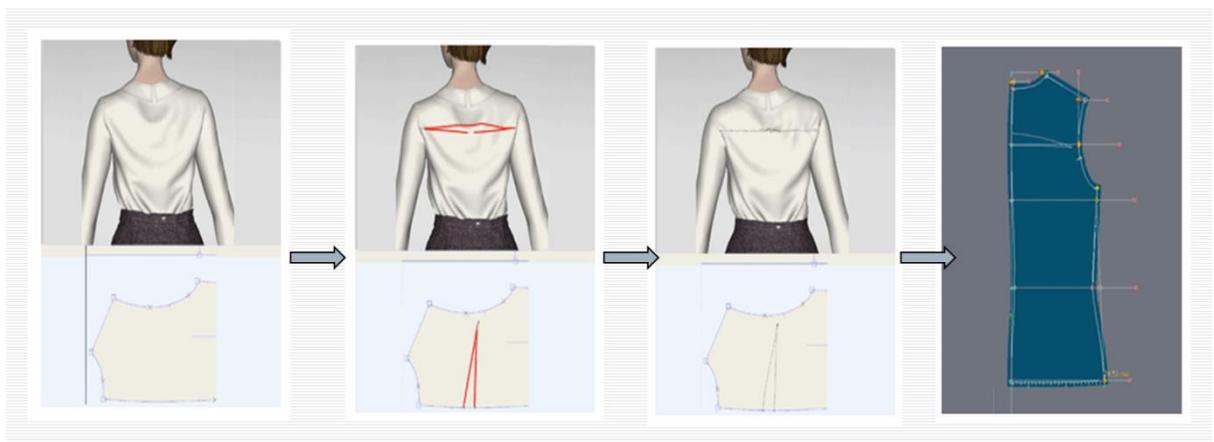


Рисунок 2.43 - Проведение виртуальной примерки и устранение конструктивного дефекта изделия в системе «LECTRA»

При помощи математического аппарата для анализа поведения материала на отдельных участках поверхности фигуры в *3D* модели одежды прогнозируется вероятный конструктивный дефект и предлагаются пути устранения этого дефекта с одновременным внесением исправлений в лекала конструкции. На настоящий момент это единственное решение в рамках существующих САПР одежды, которое позволяет имитировать примерку

образца проектируемого изделия на индивидуальной фигуре и оценить качество посадки одежды.

Для изучения причин возникновения конструктивных дефектов и способов их устранения при проведении виртуальной примерки незаменимым инструментом могут стать системы *3D* сканирования. Существующий технический уровень и инструментальный потенциал таких систем позволяют оценить и выявить зоны наиболее плотного контакта изделия с фигурой, а, следовательно, и определить направления приложения сил при возникновении дефектов в конструкции изделия.

В результате анализа существующих способов виртуальной оценки качества посадки проектируемых изделий установлено, что, несмотря на высокий уровень реалистичности представления *3D* моделей изделий и одеваемых фигур, достоверность соответствия трехмерного визуального образа изделия фактической внешней форме реального образца, изготовленного из конкретного материала и одетого на заданную фигуру вызывает обоснованные сомнения. Следует отметить, существование проблемы корректности представления поведения различных участков проектируемого изделия из определенного материала на выбранной нетиповой фигуре человека, а именно реалистичного прогнозирования вероятных конструктивных дефектов при воздействии всей совокупности факторов и алгоритмов их автоматизированного устранения путем модификации конструкции. Также можно говорить о сложности оценки соответствия полученных проектных решений первоначальному техническому эскизу, отражающему замысел дизайнера нового изделия. Таким образом, можно сделать вывод об отсутствии эффективного объективного инструментария для оценки соответствия разрабатываемых проектных решений швейных изделий эскизному или техническому заданию, способного обеспечить дистанционный контроль качества разработанной конструкции и возможность автоматизированной корректировки *2D* конструкции и *3D* модели изделия в виртуальной среде.

В последние пять лет все большее количество учёных предлагают использовать сканеры трёхмерных объектов (*3D scanner*) для оценки качества посадки готовой одежды, благодаря возможности сравнения данных о *3D* поверхности с соответствующей *3D* моделью, полученной в САПР одежды, называемом «*CAD-Compare*» и применяемом для определения точности окончательной сборки и анализа особенно сложных поверхностей (*Koch M.*, 2012) [326].

В 2012 г. бельгийскими исследователями (*Smeets D., et al.*, 2012) предложен подход для сравнения трёхмерных объектов, таких как *3D* модели фигуры человека или внешней формы одежды, осложненного возможной деформацией формы, а именно различными позами человека или поведением материала, что требует корректности виртуального моделирования и процедуры оценки. Для этого возможно проведение сравнения *3D* моделей не только по явному соответствию координат точек, но и по изометрической деформации поверхности [437].

Сингапурскими исследователями (*Premachandran V., Kakarala R.*, 2013) предложен способ виртуального распознавания визуально похожих внешних форм объекта при дополнительном контексте помимо основных сечений, а именно благодаря дескриптору, фиксирующему внутренние свойства формы [430].

Специалистами американской швейной промышленности в рамках исследования, проведенного в Корнельском университете (*Song H.K., Ashdown S.P.*, 2010), отмечена полезность применения технологии *3D* сканирования для оценки качества посадки одежды. Однако, надежность данных сканирования одежды отличается по различным зонам: более достоверна информация в области груди, что свидетельствует о целесообразности совершенствования программного обеспечения, структурирующего массив данных об исследуемой поверхности [439].

В проведенной в этом направлении работе Э. Бай из университета Миннесоты и Э. МакКинни из института искусств Далласа (*Bye E., et al.*,

2010) определена проблема обеспечения хорошей посадки одежды (“*good fit for garments*”), решение которой необходимо как для повышения удовлетворенности, комфорта и работоспособности потребителей, так и успешности и известности производителей одежды. *Оценка соответствия проектируемых изделий заданному техническому эскизу и антропометрическим характеристикам фигуры* проводилась путем сканирования женщин подходящего размера как в плечевой, так и поясной одежде, и затем внесением изменений или утверждением проектной документации для промышленного изготовления изделия (рис. 2.44).

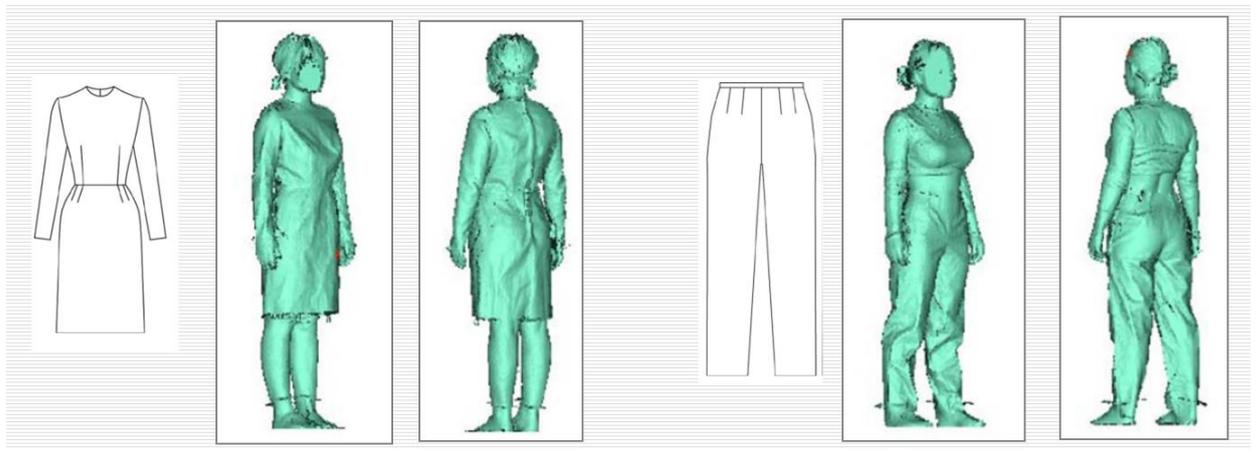


Рисунок 2.44 – Оценка качества посадки проектируемых плечевых и поясных изделий путем 3D сканирования одежды на фигуре человека заданного размера (технические эскизы и сканы фигур в одежде) [358]

Данный подход применялся в условиях массового производства для корректировки базовых конструкций одежды на индивидуальных фигурах, однако еще не реализован для оценки одежды сложных форм и покроев. Таким образом, виртуальное проектирование одежды на базе методов 3D сканирования становится глобальной альтернативой традиционному подходу к оценке качества и пригодности проектируемых изделий (*fit analysis*). Южно-корейскими учеными (*Sul I.H., Kang T.J., 2010*) предложен метод автоматической оценки внешней формы одежды на движущемся человеке при оперативном симулировании поверхности одежды в динамике [444]. Генерация 3D модели одетой фигуры осуществлялась путем преобразования обычных данных 3D сканирования тела человека с помощью полунявного

метода движущихся частиц (*semi-implicit particle method*), обычно используемого для моделирования ткани. Разработанный алгоритм позволил создать *3D* модель одетого человека, отличающуюся цветом и фактурой поверхности, движением, особенностями внешнего облика, что повышает реалистичность имитации внешней формы одежды (рис 2.45).

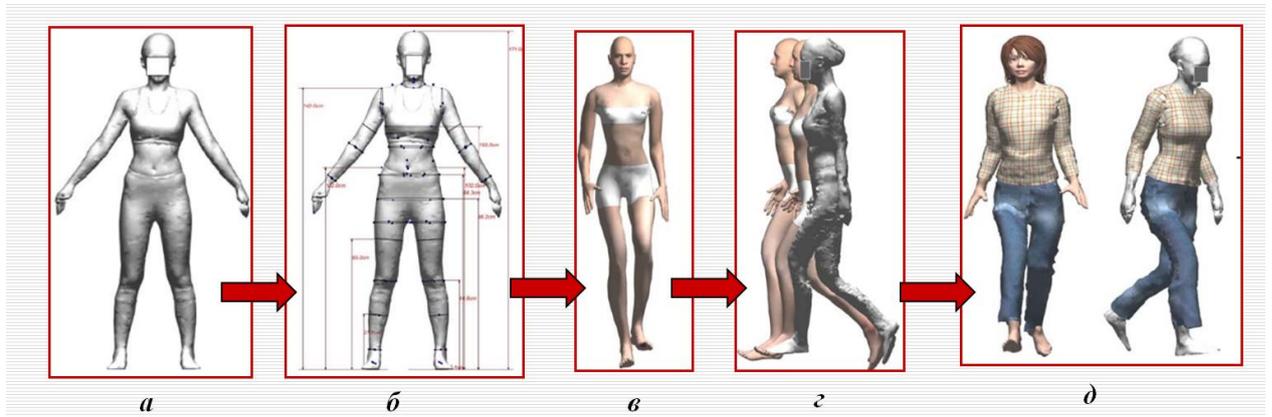


Рисунок 2.45 – Метод автоматической оценки внешней формы одежды на движущемся человеке: а- *3D* сканирование фигуры; б- определение размерных характеристик; в - построение виртуальной модели фигуры; г - симуляция движений фигуры человека; д - симуляция внешней формы одежды в динамике и облика человека [444]

Основное предназначение разработанной системы - показать клиенту, как он будет выглядеть в выбранном изделии с учетом размера его фигуры и анимации вероятных движений. Благодаря достоверной *симуляции поведения поверхности одежды при движении индивидуальной фигуры* человека данная разработка может быть востребована производителями одежды для виртуального реалистичного представления своих изделий на фигурах потенциальных покупателей в департаментах онлайн-продаж изделий. Однако применению этого метода в швейной промышленности для оценки качества посадки проектируемых изделий препятствует недостаточная точность анимационного модуля, направленного скорее на привлекательность динамичного визуального образа, чем на высокую точность представления *3D* модели изделия и *2D* развертку конструкции.

Исследователями французского университета в Лилле К. Тао и П. Бруно (*Tao X., Bruniaux P., 2013*) предложен метод *3D* проектирования и изготовления индивидуальной одежды в условиях массового производства на

основе данных *3D* сканирования, позволяющих вносить необходимые изменения в проектно-конструкторскую документацию [446].

Основным назначением разработанной системы проектирования является *визуализация качества посадки проектируемых образцов одежды, выполненных из различных материалов*, в результате подбора виртуального манекена потребителя по данным сканирования его фигуры; построения базовой конструкции брюк и их виртуального моделирования на выбранной *3D* фигуре; симуляции поведения различных материалов для выбранной конструкции и виртуального манекена потребителя; построения деталей конструкции изделия с учетом поведения материала в одежде; виртуальной оценки качества посадки проектируемого изделия на фигуре по внешней форме изделия и цветовому отражению степени прилегания изделия к телу человека (рис. 2.46).

К достоинствам метода можно отнести визуализацию поведения материала в одежде на фигуре человека и возможность оперативной корректировки *2D* лекал при изменении *3D* модели изделия, а его недостатком является переход от данных об индивидуальных размерах и форме поверхности фигуры к условному виртуальному манекену из базы данных системы, что снижает достоверность виртуальной примерки.

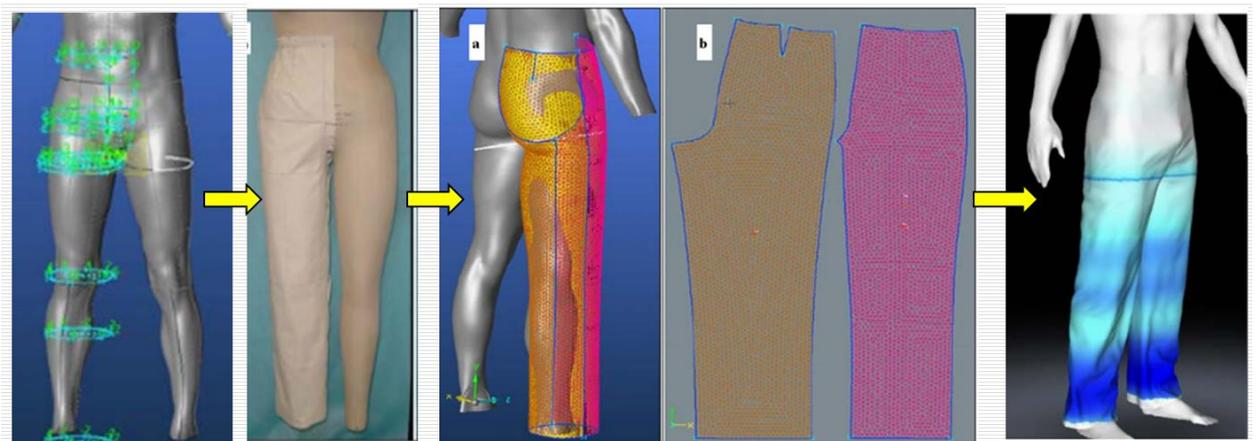


Рисунок 2.46 – Виртуальная оценка качества посадки брюк по данным сканирования фигуры потребителя и симуляции поведения материала в одежде с цветовым отражением степени прилегания изделия [446]

Проведенный обзор современных отечественных и зарубежных разработок свидетельствует об *актуальности* разработки теоретических и

методологических основ описания внешней формы поверхности фигуры человека и одежды, объективной оценки соответствия проектируемых швейных изделий техническому заданию в трехмерной виртуальной среде, создания математического, методического и аппаратного обеспечения получения необходимой информации. Исходя из современного уровня развития науки и техники, можно сделать вывод, что решение поставленной проблемы обусловлено необходимостью создания универсальной технологии трехмерного сканирования, позволяющей получать трехмерные модели фигур высокого уровня физического подобия реальным индивидуальным фигурам, предусматривающей возможность получения данных для проектирования достоверных трехмерных виртуальных манекенов, а также обладающей потенциалом для проведения оценки соответствия проектных решений одежды антропометрическим характеристикам и внешней форме фигуры индивидуального потребителя.

Можно отметить, что в настоящее время отсутствует эффективный инструментарий для проведения объективной оценки соответствия разрабатываемых проектных решений швейных изделий эскизу дизайнера. Результат анализа способов оценки достоверности представления моделей одежды и поверхности фигуры в современных САПР показал, что возможно получать трехмерные модели фигур в одежде и развертки деталей одежды, характеризующиеся высоким уровнем визуализации изделий и реалистичностью фигур. Однако достоверность соответствия как трехмерного визуального образа изделия фактической внешней форме изготовленного образца, так и полученных проектных решений техническому эскизу и антропометрическим параметрам фигур потребителей вызывает обоснованные сомнения. Таким образом, можно сделать вывод об актуальности создания методологии объективной оценки внешней формы проектируемых швейных изделий, конструируемых по различным методикам, выполненных из различных материалов и одеваемых на фигуры разного телосложения, как на качество посадки, так и на соответствие

замыслу дизайнера, отраженному в художественном или техническом эскизе. Проблема оценки соответствия проектного решения швейного изделия техническому заданию может быть решена путем сопоставления трехмерных виртуальных моделей эскизного решения проектируемого изделия и оцифрованной поверхности изготовленного в промышленных условиях образца изделия методом трехмерного сканирования, обеспечивающего точное описание поверхности одежды на фигуре человека.

2.4. Новый подход к процессу проектирования внешней формы одежды на основе информационных технологий и инноваций

На современном этапе глобального развития швейной промышленности сформирована новая индустриальная парадигма проектирования и производства одежды, требующая сокращения промышленного цикла изделия от эскиза до розничной продажи, детального учета как потребительского спроса, так и возможности использования высоких технологий и результатов научных исследований о материалах и САПР одежды. Основными аспектами нового подхода к проектированию одежды становятся: 1) способность производителя одежды представить продукцию как можно более широкому кругу покупателей, воспринять и аккумулировать запросы своих потенциальных потребителей для оперативного воплощения в промышленной коллекции, изыскать возможность изготавливать в условиях массового производства изделия по персональным предоплаченным заказам; обеспечить интерактивное онлайн-представление изделий в большей степени подходящих конкретным потребителям для активизации интернет-продаж продукции, то есть реализация концепции *«массовой кастомизации»* и клиенто-ориентированной стратегии развития швейного предприятия; 2) способность компании отвечать на глобальные технологические вызовы, а именно осуществлять проектирование новых изделий и всей конструкторско-технологической документации в цифровом виде и по возможности в

автоматизированном режиме, применять инновационные технологии и материалы, использовать средства виртуального компьютерного моделирования и объективного контроля качества проектных решений и выпускаемой продукции.

На современном этапе развития швейной промышленности комплексные технологические решения лежат в основе всех этапов проектирования одежды, обеспечивая переход проектной документации в электронный формат, оцифровку и *3D* визуализацию внешней формы объектов проектирования, виртуальное конструирование и моделирование изделий, экспорт цифровой информации процесса проектирования в производственные подразделения, в том числе дистанционно расположенные.

Процесс проектирования новых швейных изделий представляет собой сложную динамическую систему, состоящую из взаимосвязанных этапов преобразования информации, осуществляемого как традиционными, так и инновационными методами. Реализация этапов процесса проектирования одежды может происходить последовательно или параллельно, в одном или разных подразделениях предприятия, централизованно или в различных регионах, странах или предприятиях. При этом существующий технологический уровень швейной отрасли позволяет обеспечить единую информационную среду проектирования для формирования *нового промышленного жизненного цикла изделия* (рис. 2.47), отличающегося введением высокотехнологичных методов проектирования изделий и организацией онлайн-представления одежды.

Современные *научные, инновационные и технологические факторы внешней среды* обуславливают необходимость расширения традиционного промышленного цикла швейных изделий до организации *онлайн – продаж* благодаря возможности визуализации промышленной коллекции в едином цифровом формате в виде *2D* или *3D* моделей проектируемых изделий. Современные потребители все больше времени проводят в виртуальной

среде, доступной благодаря интуитивно-понятным интерфейсам современных технических мобильных устройств, поэтому в настоящее время значительно трансформируются подходы к представлению промышленных коллекций одежды. Привлечение потребителей для изучения, выбора и онлайн-покупок изделий на сайте компании-производителя позволяет получить достоверную информацию о покупателях, заинтересованных продукцией именно этой компании, узнавать о реальных запросах и ожиданиях потребителей, накапливать информацию о потребителях продукции производимой предприятием, что влияет на повышение спроса на выпускаемую одежду и соответственно на эффективность швейного производства.

Современные технологии обеспечивают возможность получения дополнительных, уточнённых данных о внешней форме фигуры человека и размерных характеристиках в современном цифровом формате, позволяя потребителю визуализировать собственную фигуру и осуществлять взаимодействие на качественно новом уровне. Кроме того, систематизация информации о размерах и форме тела потребителей продукции конкретного предприятия обеспечит формирование базы данных виртуальных 3D манекенов индивидуальных фигур потребителей определенного вида продукции и предоставление потребителю возможности принимать участие в проектировании одежды по персональному запросу, а также ускорит онлайн-демонстрацию или подбор моделей одежды, в большей степени подходящей для определенных размеров и телосложения человека. Благодаря углублённому пониманию запросов потребителей и организации интерактивного взаимодействия в интернет-среде производитель имеет возможность делать персональные предложения собственной продукции заинтересованным пользователям с учётом индивидуальных антропометрических данных и предпочтений.

Развитие телекоммуникационных технологий предоставляет потребителю возможность принимать участие в разработке одежды,

изготавливаемой на другом конце мира. Так, на рисунке 2.47 розовым цветом иллюстрируются высокотехнологические аспекты процессы проектирования одежды, на которые непосредственно может повлиять потребитель. Следует отметить, что современная индустриальная парадигма включает возможность одновременного сосуществования как традиционных (выделенных серым цветом на рисунке 2.47), так и высокотехнологичных процессов проектирования, интеграцию модулей различных технических и программных средств проектирования и изготовления одежды благодаря формированию единой цифровой информационной среды по всем этапам промышленного жизненного цикла изделия.

Таким образом, благодаря интенсивному инновационному развитию цифровых технологий современная индустриальная парадигма производства одежды объединяет высокие технологии в области автоматизированного проектирования и изготовления одежды и результаты новых научных исследований, способствует взаимовыгодному сближению массового и индивидуального производств в интересах, как потребителей, так и производителей.

.



Рисунок 2.47 – Концепция единой среды проектирования в рамках промышленного жизненного цикла изделия

Выводы по второй главе:

1. Доказана востребованность применения методов трехмерного виртуального проектирования в швейной промышленности, необходимость внедрения *3D* моделирования в практическую деятельность дизайнеров и конструкторов одежды, выявлена проблема обеспечения достоверности представления виртуальных *3D* моделей проектируемой одежды и виртуальной примерки изделий на заданных фигурах.
2. Установлено, что современная индустриальная парадигма европейских производителей одежды базируется на сокращении промышленного цикла изделия от эскиза до розничной продажи, использовании высоких технологий в области САПР и изготовления одежды, результатах научных исследований о материалах, а также на тенденции взаимовыгодного сближения массового и индивидуального производств в интересах потребителей благодаря интенсивному инновационному развитию отрасли.
3. Систематизированы и классифицированы САПР одежды, применяемые в мировой швейной промышленности, по архитектуре процесса и последовательности действий, по сценариям проектирования и способам построения одежды и подготовки ПКД, в зависимости от применения принципов одевания или развёртывания. Проведенный анализ САПР одежды показал, что в настоящее время, несмотря на высокий уровень визуализации проектируемых изделий и реалистичности фигур потребителей, не обеспечена достоверность виртуального представления фактической внешней формы одежды. На рынке отсутствуют САПР одежды, способные обеспечить плоскостную развертку виртуальных образцов в промышленных условиях. Автоматизированная виртуальная примерка проектируемых изделий остается наименее проработанной частью САПР одежды.
4. Выбор модулей САПР одежды и автоматизированных приложений зависит от предпочтений пользователя и стоимости программного обеспечения, от способности системы к экспорту и импорту *3D* моделей и *2D* чертежей конструкции изделия из одной системы в другую.

5. Установлено, что достоверность представления виртуальной *3D* модели внешней формы проектируемого изделия во многом зависит от адекватности прогнозирования поведения используемых материалов на фигурах различного телосложения и симулирования их формообразования в изделии с учетом физико-механических и визуальных свойств, систематизированных в базах данных САПР одежды. При этом внешняя форма одежды из одного и того же материала, одетого на одну и ту же фигуру, может не иметь однозначного решения, особенно при свободном силуэте.
6. 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 параметрами ткани, запроектированными в процессе виртуального моделирования, и полученными в результате *3D* сканирования отшитого образца.
7. Определено, что оценка качества проектных решений одежды направлена на: 1) установление корректности соответствия изготовленного образца одежды техническому заданию, сформированному для реализации замысла дизайнера, отраженного в эскизе проектируемого изделия; 2) определение уровня соответствия проектного решения эталону, в качестве которого производителем или заказчиком могут быть выбраны образцы-аналоги, технические условия предприятия, требования отраслевых или государственных стандартов.
8. Глобализация, автоматизация и компьютеризация процессов проектирования и изготовления одежды обуславливают необходимость оценки проектных решений в удаленном режиме и в электронном виде, и соответственно разработки объективного инструментария для достоверной оценки качества проектируемой одежды, сравнения решений по реализации замысла дизайнера с использованием различных инновационных

материалов, технологий и способов конструктивного формообразования изделий.

9. Выделены основные направления современных исследований в области оценки качества проектных решений швейных изделий: 1) оценка антропометрического соответствия проектируемых швейных изделий параметрам фигуры человека; 2) оценка степени и корректности прилегания одежды к различным участкам поверхности тела человека; 3) цветовое отображение уровня давления материала на тело человека, его растяжения и направления основных напряжений; 4) оценка соответствия проекционных зазоров в изделии заданным конструктивным проекционным прибавкам по определенным уровням; 5) виртуальная примерка *3D* моделей швейных изделий на виртуальном манекене или аватаре фигуры потребителя; 6) выявление потенциальных конструктивных дефектов *3D* моделей проектируемого изделия, причин их возникновения и внесение изменений в *2D* конструкцию; 7) оценка соответствия проектируемого изделия заданному техническому эскизу; 8) симуляции поведения поверхности одежды при движении индивидуальной фигуры человека для оценки ее внешней формы; 9) визуализация качества посадки проектируемых образцов одежды, выполненных из различных материалов; 10) применение систем трехмерного сканирования для оценки качества посадки готовой одежды.

10. Проведенный анализ зарубежных исследований показал, что значительное количество потребителей для примерки выбирает одежду неподходящего размера или виртуальный манекен с более привлекательной формой тела. Установлено, что для организации онлайн-платформы продаж одежды производителями полезна возможность представлять *3D* модели швейных изделий и интерактивно изменять размер одежды в соответствии с параметрами фигуры потребителя.

11. Установлена эффективность проведения *3D* виртуальных примерок в интернет-магазинах с использованием виртуальных *3D* моделей фигур потребителей, полученных в результате *3D* сканирования, преимуществом

которых отмечено получение покупателями необходимой зрительной информации для оценки качества посадки одежды на фигуре, а к недостаткам отнесены риски, связанные с конфиденциальностью личных данных, доступностью технологии и дискомфортом от просмотра собственного отсканированного тела.

12. Выявлена научная проблема формирования теоретических и методологических основ виртуального проектирования внешней формы одежды и разработки объективного инструментария оценки качества полученных проектных решений, решению которой способствует создание отечественной открытой универсальной технологии *3D* сканирования, позволяющей получать достоверные *3D* виртуальные манекены фигур потребителей и оценивать степень соответствия оцифрованной поверхности внешней формы изделия, изготовленного в промышленных условиях, трехмерной виртуальной модели эскизного решения проектируемого изделия.

13. Разработана концепция процесса проектирования внешней формы одежды на всех этапах промышленного жизненного цикла изделия, предполагающая как сквозное, так и локальное применение технологии *3D* сканирования, направленная на ускорение сменяемости новых моделей, сокращение сроков выхода на рынок новой продукции и повышение удовлетворенности потребителей швейными изделиями. Процесс проектирования внешней формы одежды базируется на создании *2D* или *3D* эскизов и формировании технического задания на новое изделие, на определении размерных признаков или виртуальных *3D* моделей типовых и индивидуальных фигур потребителей, на осуществлении *2D* или *3D* моделирования БК и МК в САПР, на виртуальной оценке качества проектного решения и проведении при необходимости корректировки деталей конструкции, на представлении промышленной коллекции и организации розничных онлайн-продаж продукции производителем.

Глава 3. РАЗРАБОТКА ТЕОРЕТИЧЕСКИХ И МЕТОДОЛОГИЧЕСКИХ ОСНОВ БЕСКОНТАКТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ ТЕЛА ЧЕЛОВЕКА И ВНЕШНЕЙ ФОРМЫ ОДЕЖДЫ

На современном этапе развития швейной промышленности большинство производителей используют САПР одежды для осуществления полного цикла проектно-конструкторских работ, предпочитая инновационные способы трехмерного проектирования одежды. Базы данных размерных признаков фигур мужчин, женщин, детей по ОСТ и ГОСТ являлись достаточными массивами информации для выполнения проектных работ до появления методов трехмерного конструирования и моделирования одежды. Стандартный набор размерных признаков не отображает всех особенностей пространственной формы поверхности тела и не обеспечивает возможности установить положение любых антропометрических точек, линий и сечений в трехмерной системе координат. Более подробную информацию о поверхности тела человека можно получить с помощью методов бесконтактного изучения фигуры человека и специализированных устройств, к которым можно отнести системы трехмерного сканирования.

Несмотря на разнообразие существующих зарубежных технологий 3D сканирования технический уровень подобных отечественных систем остается значительно ниже зарубежных аналогов, что и обуславливает целесообразность разработки высокотехнологичной системы 3D сканирования, обеспечивающей российских производителей инструментарием для получения точной и полной антропометрической информации, для проведения оценки качества проектных решений. Осуществление разработки технологии 3D сканирования российскими специалистами на основе *принципов универсальности и открытости* предоставляет возможность оцифровывать любые сложные пространственные объекты и обеспечить по запросу любой перечень размерных характеристик измеряемого 3D объекта.

3.1. Теоретические основы технологии трехмерного сканирования в легкой промышленности

В основе разрабатываемой технологии трехмерного сканирования объектов сложной пространственной формы лежит решение проблемы получения информации о координатах любой точки поверхности исследуемого объекта и о взаимном расположении точек относительно друг друга.

Для внедрения технологии *3D* сканирования в практическую деятельность специалистов швейной промышленности должны быть обеспечены простота обработки информации о размерных характеристиках фигуры человека, высокая точность измерений и отображения в виртуальной среде поверхности исследуемых объектов и получение данных в трёхмерном формате, совместимом с любыми САПР одежды.

Основные термины и понятия технологии 3D сканирования.

Автором предложена научная концепция «мурусометрии» (от лат. «*murus*» - стена и «*metreo*» - измерять), под которой понимается совокупность методических приёмов бесконтактного исследования и определения параметров поверхности объектов сложной формы.

Понятие «мурусометрия» происходит от базового термина разрабатываемой теории бесконтактных измерений так называемого «муруса», представляющего собой систему технического зрения для автоматизированного получения, обработки, анализа и интеграции информации о поверхности многомерных объектов сложной формы для создания их цифровых изображений в виде виртуальных моделей и определения любых заданных параметров поверхности. Под «мурусом» понимается обобщенное представление о *виртуальном измерительном инструменте*, аккумулирующем знания о существующих математических зависимостях между координатами эталонного и измеряемого объектов, которые могут распространяться на широкий круг измеряемых объектов. В зависимости от особенностей исследуемых объектов: их размера,

расположения, вероятного места проведения измерений проектируются различные виртуальные измерительные инструменты, таким образом, чтобы координаты эталона, используемого для сравнения, были сопоставимы с координатами поверхности измеряемого объекта.

Муросометрия предназначена для изучения внешней формы поверхности объектов, бесконтактного измерения размерных признаков и построения виртуальных 3D моделей исследуемых объектов. В качестве изучаемых объектов могут выступать статические предметы различной формы и размеров, в том числе манекены, шляпные болванки, обувные колодки, корпуса автомобилей, самолетов и др., и динамические субъекты, такие как фигура человека, животного и др.

Принципиальным отличием *муросометрии* от известных способов измерения фигуры человека является бесконтактное получение одновременно визуальной и метрической информации об объекте, в то время как контактные методы измерений корректно обеспечивают получение только метрических данных, а оптические методы - только визуальной информации. Муросометрия предполагает широкий диапазон способов считывания информации о поверхности изучаемых объектов и возможность использования устройств принципиально отличающихся друг от друга. При применении фотоаппаратов как средства получения визуальной информации об измеряемом объекте муросометрия в отличие от фотограмметрии и производных от нее методов не предполагает учитывать коэффициенты масштабирования, внутреннее и внешнее ориентирование и расфокусировку снимков, снижение резкости изображения в связи с дифракцией и смещением съемочной аппаратуры в процессе экспонирования, искажение проекции фотоснимка благодаря рефракции, дисторсии и погрешностей оптических считывающих устройств, что значительно влияет на точность распознавания и цифрового отображения объектов [91, 199].

Отличительной чертой предлагаемой технологии является создание виртуального измерительного инструмента (*ВИИ*).

Виртуальный измерительный инструмент (ВИИ) представляет собой математическую модель, содержащую парную информацию о координатах каждой метки эталонной и материальной матриц [506]. Взаимосвязи в организационной структуре разрабатываемого метода измерений объекта сложной формы отражены на рисунке 3.1.

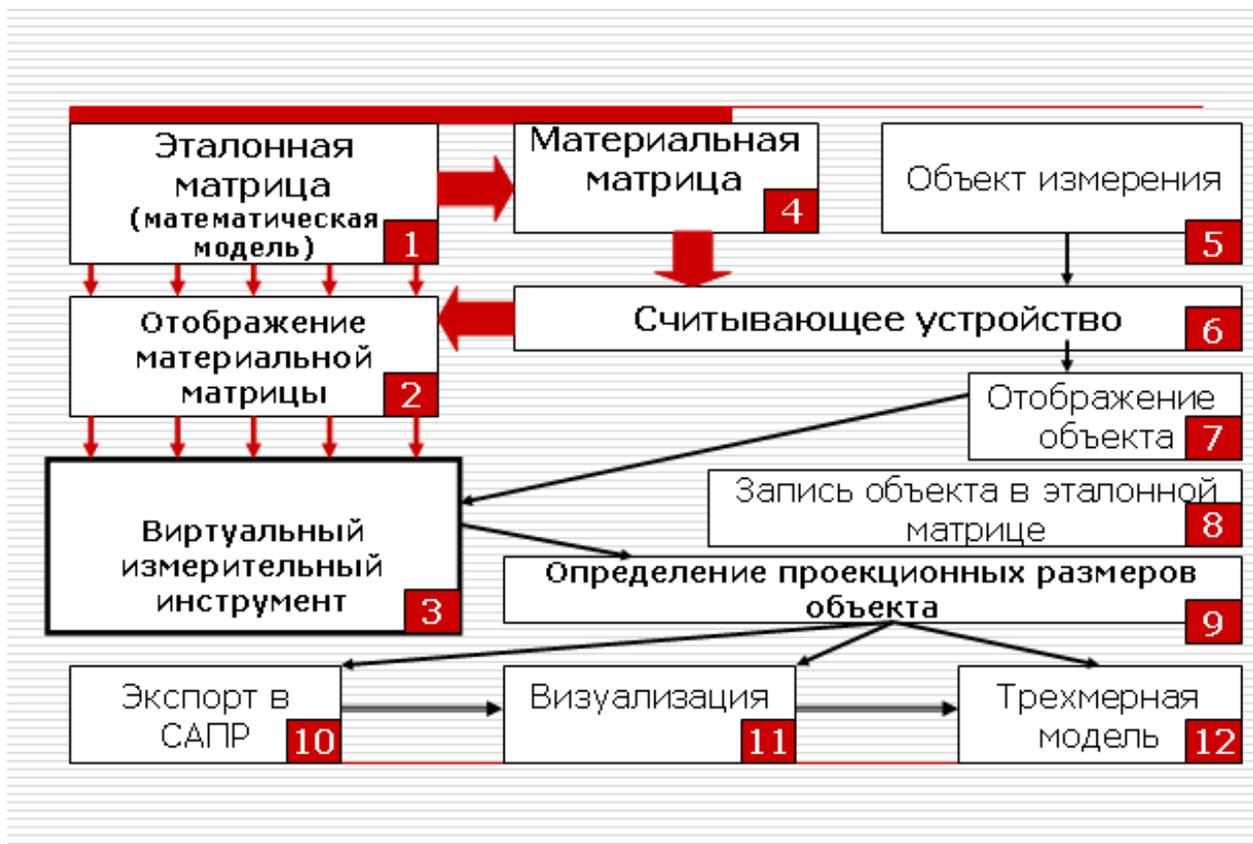


Рисунок 3.1 - Организационная структура бесконтактного метода измерений объекта

Для получения виртуального измерительного инструмента предложено использовать эталонную матрицу, материальную матрицу, считывающее устройство и отображение материальной матрицы [272].

Эталонная матрица представляет собой какую-либо закономерность расположения меток, содержащих метрическую информацию. Эталонную матрицу I (см. рис. 3.1) 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 (рис. 3.2). Метка

должна быть выполнена в виде, доступном для распознавания считывающим устройством.

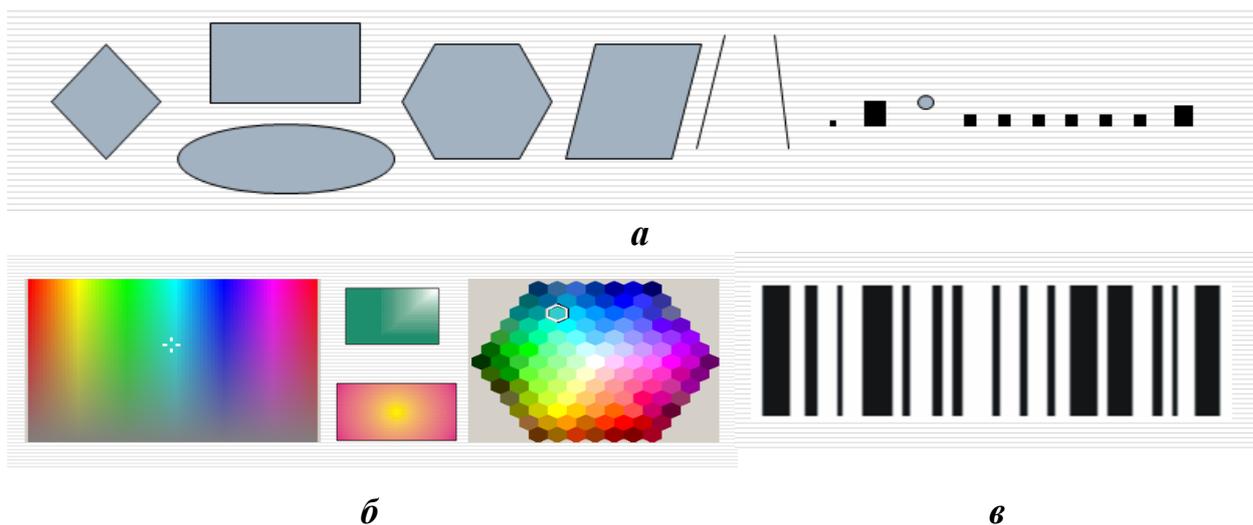


Рисунок 3.2 - Виды меток: *а* - точка, геометрическая фигура заданной формы; *б* - точка, геометрическая фигура заданного цвета; *в*- линии штрих-кода

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 **б**, переносят информацию в базу данных компьютера и обрабатывают. Таким образом, отображение материальной матрицы представляет собой информацию об отображенных координатах каждой метки материальной матрицы с искажениями используемого считывающего устройства.

ВИИ 3 получают путем определения эталонных координат каждой отображенной метки материальной матрицы, и именно запись эталонной и отображенной информации о координатах каждой метки имеет название «мурус».

Для определения проекционных размеров объекта с помощью считывающего устройства **б** выполняется отображение объекта **7**. Затем

отображение измеряемого объекта **7** совмещают с *ВИИ 3* и получают запись объекта **8** в эталонной матрице, представляющей собой математическую модель, содержащую информацию об отображении объекта с помощью *ВИИ*.

Каждая метка *ВИИ* несет в себе эталонную метрическую информацию, с помощью которой определяют проекционные координаты любой точки исследуемого объекта.

Запись измеряемого объекта в эталонной матрице позволяет получить точные размерные характеристики объекта **9** в автоматическом режиме без его визуализации в виде, доступном для экспорта в САПР одежды **10**. При необходимости запись измеряемого объекта в эталонной матрице позволяет визуализировать отображение объекта в различных плоскостях **11** и построить трехмерную модель объекта **12**.

Плоское эталонное визуализированное изображение объекта получают с помощью компьютерных программных средств путем визуализации записи объекта в эталонной матрице.

Стереоизображение 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.

Дальнейшая обработка визуализированных изображений измеряемого объекта происходит с помощью компьютерного программного обеспечения.

Предлагаемый метод определения проекционных размеров объекта может применяться как с визуализацией объекта, так и без нее. Визуализация объекта может быть выполнена как по записи объекта в эталонной матрице, так и простым отображением.

При проведении исследования поверхности объекта сложной пространственной формы, такого как фигура человек, и для получения его стерео или трехмерной модели стационарно относительно материальной

матрицы устанавливают два или более считывающих устройства. Первоначально получают отображение материальной матрицы, затем ее удаляют из зоны охвата считывающего устройства, и на ее место устанавливают измеряемый объект. Работа считывающих устройств должна быть синхронизирована [272].

3.2. Сущность предлагаемой технологии трехмерного сканирования

Технология трехмерного сканирования включает в себя последовательность действий, обеспечивающую получение исходной информации, необходимой для построения трехмерной дискретной модели фигуры человека, одежды или любого другого пространственного объекта, повторяемость результатов измерений, высокую точность получаемых данных.

Для реализации технологии трехмерного сканирования материальную матрицу, полученную любым из способов, описанных в п. 3.1, устанавливают или подвешивают перпендикулярно относительно направления оптической оси считывающего устройства так, чтобы она находилась в зоне охвата считывающего устройства. Условная схема расположения оборудования отражена на рисунке 3.3.

Считывающее устройство устанавливается стационарно относительно материальной матрицы. В качестве считывающего устройства могут быть использованы: фотоаппарат, цифровая фото или видеокамера, проекционный сканер и т.д. Считываемая информация о материальной матрице поступает в базу данных компьютера, создавая отображение материальной матрицы. Каждую метку эталонной матрицы отождествляют с каждой меткой отображения материальной матрицы, полученной с помощью считывающего устройства. Виртуальный измерительный инструмент (*ВИИ*), представляющий собой математическую модель, аккумулирует информацию о парных метках - об отображенных с помощью считывающего устройства и об эталонных метрических метках.

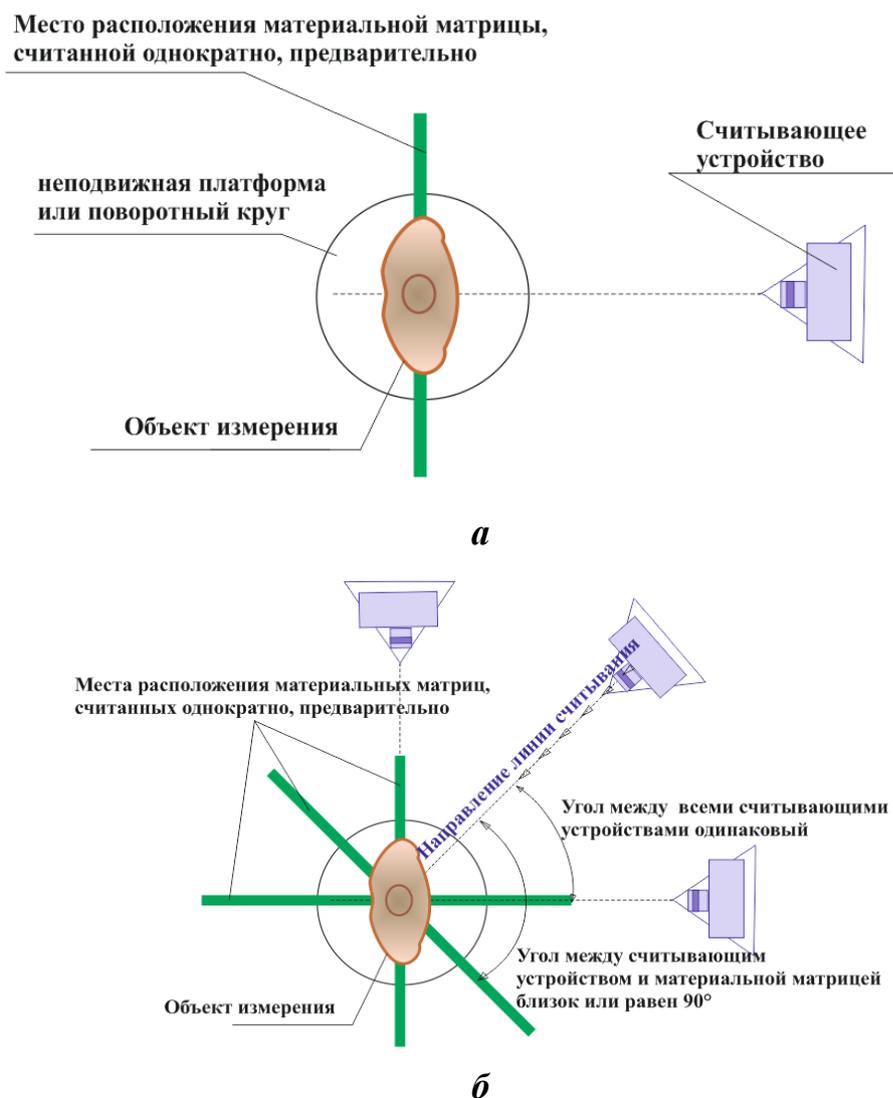


Рисунок 3.3 - Схема расположения оборудования для осуществления технологии 3D сканирования: а - при использовании одного считывающего устройства, б - при использовании n -го количества считывающих устройств

Следует отметить, что в процессе проведения измерений учитывается расположение в пространстве и размеры материальной матрицы, то есть с помощью предлагаемого *ВИИ* можно проводить измерения параметров поверхности объектов, реальные размеры которых сопоставимы с размерами и положением в пространстве материальной матрицы.

Для получения отображения объекта материальную матрицу удаляют из зоны охвата считывающего устройства, а на ее месте располагают измеряемый объект. При этом положение считывающего устройства остается неизменным.

С помощью считывающего устройства получают отображение поверхности объекта в виде информации, которую вводят в базу данных компьютера и осуществляют ее дальнейшую обработку. Затем отображение измеряемого трехмерного объекта сопоставляют с информацией, содержащейся в *ВИИ*, в результате чего происходит описание поверхности объекта в эталонной матрице в виде множества меток *ВИИ*, покрывающих всю виртуальную поверхность отображения объекта. Благодаря тому, что каждая метка *ВИИ* содержит эталонную метрическую информацию, можно определить проекционные размеры и координаты любой точки поверхности исследуемого объекта.

Для повышения степени автоматизации и точности предлагаемой системы *3D* сканирования целесообразно использовать *n*-ое количество считывающих устройств, расположенных по дуге окружности вокруг измеряемого объекта сканирования под одинаковым углом между ними. Для определения необходимого, но достаточного количества считывающих устройств нужно учитывать, что каждое дополнительное считывающее устройство увеличивает как точность результатов измерения, так и стоимость системы.

Другой возможностью осуществления *3D* сканирования и получения информации о разных проекциях поверхности измеряемого объекта является применение для проведения измерений поворотного круга, разделенного на равные сектора с шагом в 10° (рис.3.4, а). Измеряемый трехмерный объект устанавливается на круг, который плавно поворачивается вокруг своей оси, что позволяет использовать только одно считывающее устройство. В этом случае стоимость системы *3D* сканирования снижается за счет минимизации используемого оборудования, уменьшается площадь размещения установки для проведения измерений, но несколько возрастает время проведения измерений за счет длительности поворота круга и может быть снижена точность измерений из-за возможных движений объекта, например, некоторой перемены позы человеком.

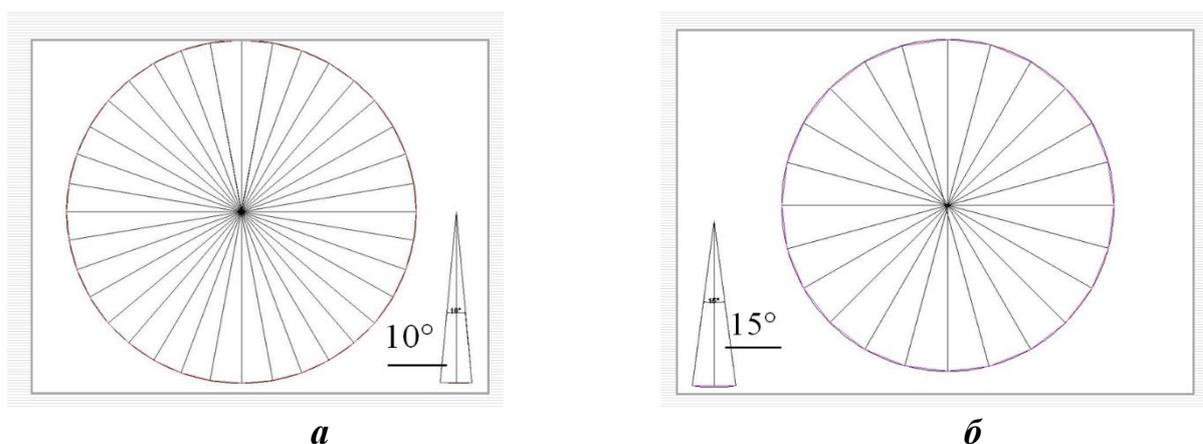


Рисунок 3.4 - Схема расчёта количества считывающих устройств: а – угол между устройствами 10° ; б – угол 15°

Для расчета необходимого, но достаточного количества считывающих устройств, используем следующее допущение: форму поверхности фигуры человека или манекена примем за цилиндрическую, имеющую в основании окружность. При построении замкнутой линии, соединяющей последовательно между собой считывающие устройства, размещенные по дуге окружности, получим равносторонний описанный многоугольник, в вершинах которого лежат считывающие устройства. Если угол между считывающими устройствами составляет 10° , то многоугольник должен быть 36-сторонним и состоять из 36 считывающих устройств, если - 15° , то – содержать 24 считывающих устройства (см. рис. 3.4).

Угол между плоскостью материальной матрицы и считывающим устройством должен быть близок или равен 90° .

Для фигуры из 36 углов можно принять, что она состоит из 36 равносторонних треугольников с углом при вершине, совпадающим с центром многоугольника и равным 10° . Значит, отношение высоты треугольника к его стороне будет равно $\cos 5^\circ = 0,996$. Для фигуры из 24-х углов аналогично $\cos 7,5^\circ = 0,991$. Таким образом, снижение точности измерений для 24-угольника составляет 0,09%, а для 36-угольника – 0,04%.

Так как предлагаемая технология 3D сканирования может включать использование различных типов считывающих устройств и виртуальных измерительных инструментов, то важно выделить универсальную

последовательность действий, характерную для всех модификаций системы. Единый процедурный подход в реализации технологии 3D сканирования можно проиллюстрировать двумя условно выделенными блоками действий:

Блок I – Универсальная методика формирования виртуального измерительного инструмента (ВИИ) (используется однократно при настройке оборудования):

- задать эталонную матрицу в виде математической модели;
- подготовить материальную матрицу путем нанесения на специальную поверхность меток, соответствующих эталонной матрице;
- установить материальную матрицу, то есть материальный объект с нанесенными на него метками;
- установить считывающее устройство, чтобы в его зоне охвата оказалась материальная матрица;
- получить отображение материальной матрицы, то есть координаты каждой метки на ее поверхности;
- сформировать *ВИИ* как математическую модель, содержащую парную информацию о координатах каждой метки эталонной и материальной матриц, путем определения с помощью программного обеспечения эталонных координат каждой отображенной метки материальной матрицы;
- удалить материальную матрицу из зоны охвата считывающего устройства.

Блок II – Универсальная методика проведения измерений заданных параметров поверхности исследуемого трехмерного объекта (используется многократно для исследования поверхностей):

- установить измеряемый объект в исходное положение на место удаленной материальной матрицы;
- получить отображение измеряемого объекта;
- с помощью программного обеспечения *ВИИ* описать объект в эталонной матрице;

- с помощью программного обеспечения построить виртуальную *3D* модель измеряемого объекта;
- определить требуемые размерные характеристики.

3.3 Разработка методов формирования виртуальных измерительных инструментов

Важным этапом формирования *ВИИ* является разработка эталонной матрицы и последующее изготовление материальной матрицы в соответствии с эталонной матрицей. В зависимости от формы и размеров объекта закономерности расположения меток в эталонной матрице могут быть представлены большим количеством вариантов. В диссертационной работе рассмотрены отдельные примеры формирования эталонной матрицы с помощью меток следующих видов:

- сочетание в каждой метке трех заданных цветов в различных пропорциях;
- представление меток как геометрических элементов;
- представление меток как элементов штрих-кодов.

Основными условиями для выбора и использования меток являются:

- представление меток в виде, доступном считывающему устройству;
- способность каждой метки нести в себе метрическую информацию (иметь вычисляемые координаты);
- размеры метки должны быть сопоставимы с заданной ценой деления *ВИИ*.

Разработка цветного виртуального измерительного инструмента.

Характерной особенностью цветного *ВИИ* является то, что метрическая информация, заложенная в нем, доступна только средствам технического зрения и не распознается органами чувств человека.

Существуют две принципиально различные системы оценки и представления цвета. Первая – это колориметрическая система, в основе которой лежат основные излучения, смешивая которые, возможно воспроизвести все многообразие цветов. Вторая – это система спецификации цветов, где цвет имеет материальный носитель в виде окрашенных образцов, расположенных в определенном порядке [166].

В основе обеих систем лежит такое фундаментальное понятие, как цветовое пространство. Основы научного представления о цвете были заложены И. Ньютоном. И. Ньютон предложил систематизировать цвета при помощи белого света, разложенного призмой в спектр, семь основных цветов которого расположил по кругу (рис. 3.5).

Согласно И.Ньютону, все природные цвета расположены внутри круга с белой точкой в центре и плавно переходят один в другой. При этом насыщенность цвета увеличивается от центра круга к периферии.

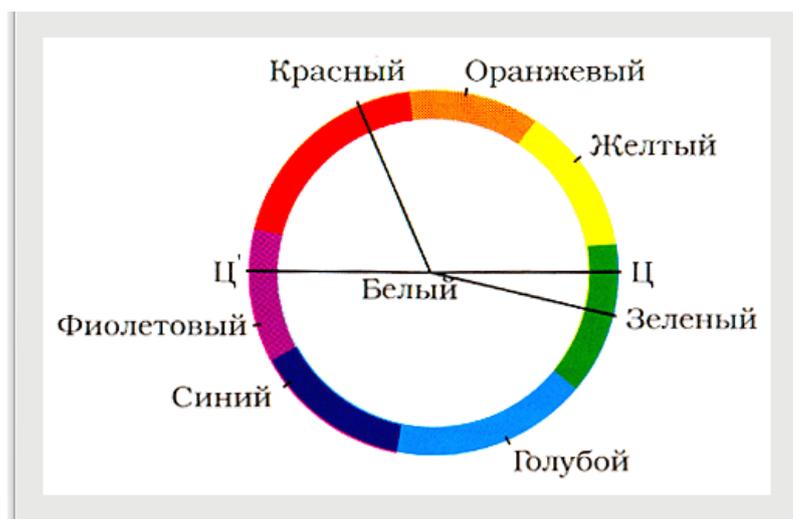


Рисунок 3.1 - Цветовой круг Ньютона

В настоящее время сложилось трехмерное представление о цветовом пространстве и его строении. В колориметрии цвет можно оценить по координатам цвета, которые соответствуют математической модели нашего зрения. Каждый цвет обладает количественно измеряемыми физическими характеристиками: насыщенностью, светлотой, цветовым тоном, яркостью,

чистотой. Основные физические характеристики цвета и их определение отражены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 - Физические характеристики цвета

Насыщенность	Светлота	Цветовой тон	Яркость	Чистота
Интенсивность определённого тона	Визуальная оценка яркости	Зрительное ощущение подобия одному из однозначных цветов: красному, желтому, зеленому и синему или комбинации двух из них	Отличие одинаково насыщенных оттенков, относимых к одному и тому же цвету спектра	Отсутствие в том или ином цвете примесей других цветов или их оттенков

Для представления излучаемого и отраженного цвета можно использовать цветовые математические модели, позволяющие описать цветовое пространство с помощью количественных характеристик. Известны «цветовые аппаратно–зависимые модели» (такие как *RGB* и *СМУК*, составляющие большинство на настоящий момент) и «цветовые аппаратно-независимые модели» (*Lab*) [53].

По принципу действия цветовые модели можно разделить на три класса:

- аддитивные (*RGB*), основанные на сложении цветов;
- субтрактивные (*СМУ*, *СМУК*), основу которых составляет операция вычитания цветов (субтрактивный синтез);
- перцепционные (*HSB*, *HLS*, *XYZ*, *LAB*), базирующиеся на восприятии.

Классификация цветовых моделей по принципу действия отражена на рисунке 3.6. Аддитивные цветовые модели построены на принципе соединения в различных пропорциях трех основных (первичных) цветовых компонентов на основе законов Грассмана. К таким компонентам относятся: красный (*Red*), зеленый (*Green*) и синий (*Blue*) цвета. При попарном смешивании первичных цветов образуются вторичные цвета: голубой (*Cyan*), пурпурный (*Magenta*) и желтый (*Yellow*). Для получения новых цветов с помощью аддитивного синтеза можно использовать и различные комбинации

из двух основных цветов, варьирование состава которых приводит к изменению результирующего цвета. Аддитивные цветовые модели пространства представляют средства для концептуального и количественного описания каждого цвета.

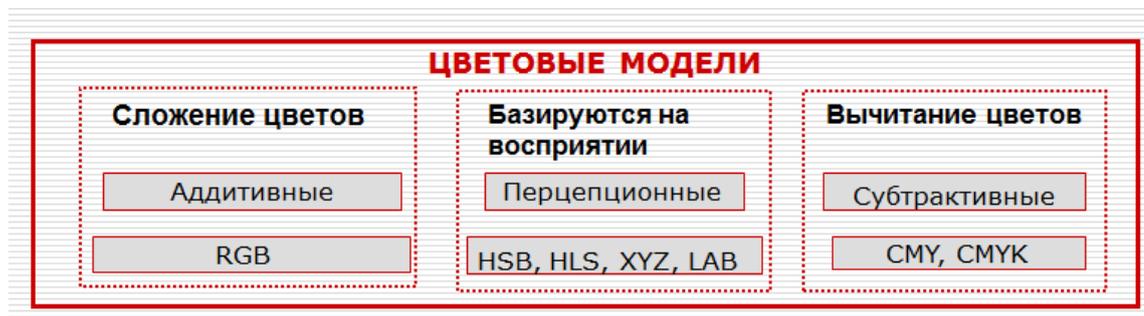


Рисунок 3.6 - Классы цветовых моделей

Наиболее распространённой и часто используемой аддитивной моделью является *RGB*. Данная цветовая модель базируется на трех основных цветах: красном (*Red*), зеленом (*Green*) и синем (*Blue*). В системе *RGB* за основные приняты три монохроматических излучения с длинами волн: $\lambda_R = 700$ нм, $\lambda_G = 546,1$ нм, $\lambda_B = 435$ нм. Базисным является белый «равно энергетический цвет», который получается путем сложения по одной единице основных цветов *R*, *G* и *B*.

Яркость каждого базового цвета может принимать значения от 0 до 255 (256 значений), таким образом, модель *RGB* позволяет кодировать 256³ или около 16,7 млн. цветов. Количественные значения некоторых цветов в модели *RGB* отражены в таблице 3.2.

Данная цветовая модель является аддитивной и представляет собой трёхмерную систему координат в виде куба с началом отсчета при сочетании *RGB* (0,0,0), соответствующим черному цвету, и максимальным значением *RGB* – (1,1,1) соответствующим белому цвету. Таким образом, благодаря принципам построения цветовой модели *RGB* возможно создать цветную эталонную матрицу, имеющую количественные характеристики для формирования цветного виртуального измерительного инструмента.

Таблица 3.2 – Количественная оценка некоторых цветов в модели RGB

Цвет	R	G	B
Красный (<i>red</i>)	255	0	0
Зеленый (<i>green</i>)	0	255	0
Синий (<i>blue</i>)	0	0	255
Фуксин (<i>magenta</i>)	255	0	255
Голубой (<i>cyan</i>)	0	255	255
Желтый (<i>yellow</i>)	255	255	0
Белый (<i>white</i>)	255	255	255
Черный (<i>black</i>)	0	0	0

Для формирования *цветного виртуального измерительного инструмента* разработана эталонная матрица из меток, выраженных сочетанием различных цветов. Данная эталонная матрица содержит метки, отражающие количественное содержание трёх различных цветов в одной точке. Так, например, можно задать изменение интенсивности синего цвета по вертикали вниз, красного – по диагонали из левого верхнего угла, зеленого по диагонали из левого нижнего угла (рис. 3.7). Возможны и другие варианты направления изменения интенсивности или других количественных характеристик используемых цветов.

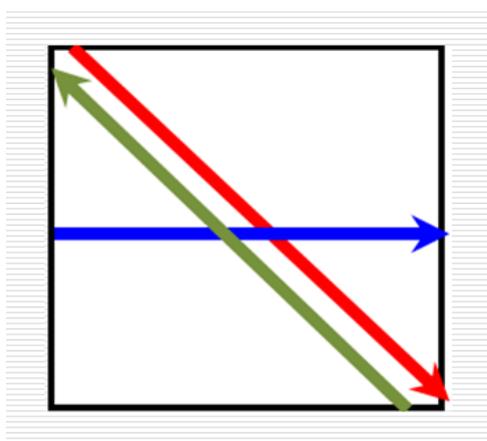


Рисунок 3.7 - Пример направлений изменения интенсивности цветов для цветного ВИИ

Для создания эталонной матрицы *цветного ВИИ* изменение первого из трех основных цветов в плоскости описывают в виде математической модели. Пример математической модели и визуального отражения распределения красного цвета в плоскости по диагонали из левого верхнего угла представлен

на рисунке 3.8. Распределение красного цвета в математической модели выражено в единицах яркости от 0 до 255, применяемых в колориметрии для цветовой модели *RGB*, и отражает только одну из трех составляющих эталонной матрицы. Величина яркости, выраженная цифрой 0, соответствует отсутствию цвета, а выраженная цифрой 255 – максимальному насыщению цветом.

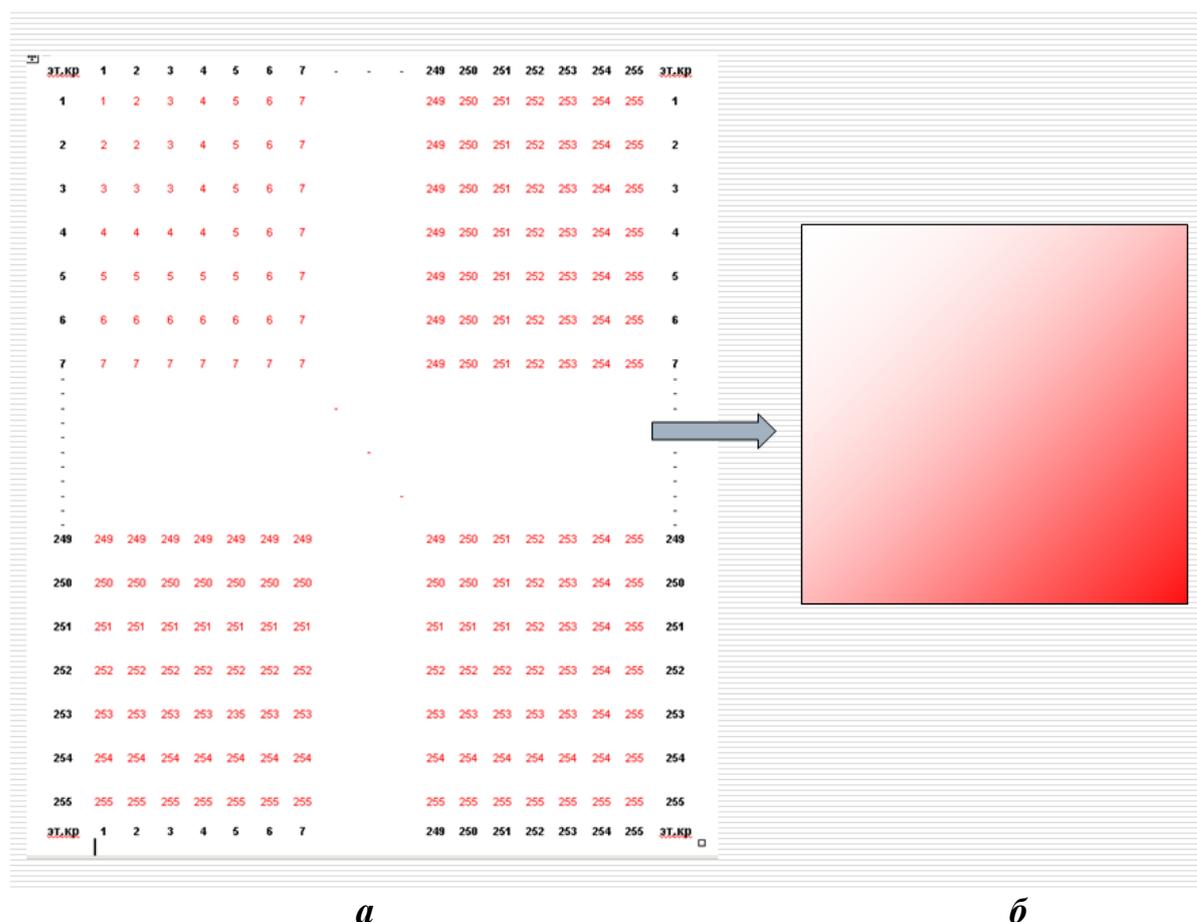


Рисунок 3.8 – Красная эталонная матрица: а - математическая модель; б - отображение распределения красного цвета в эталонной матрице

По описанному выше принципу формируется математическая модель распределения яркости зеленого цвета (рис. 3.9, а). На рисунке 3.9 можно увидеть, что интенсивность зеленого цвета убывает от 255 в левом верхнем углу до 0 в правом нижнем углу.

Аналогично создается математическая модель распределения синего цвета (рис. 3.9, б). Изменение яркости синего цвета происходит по горизонтали.

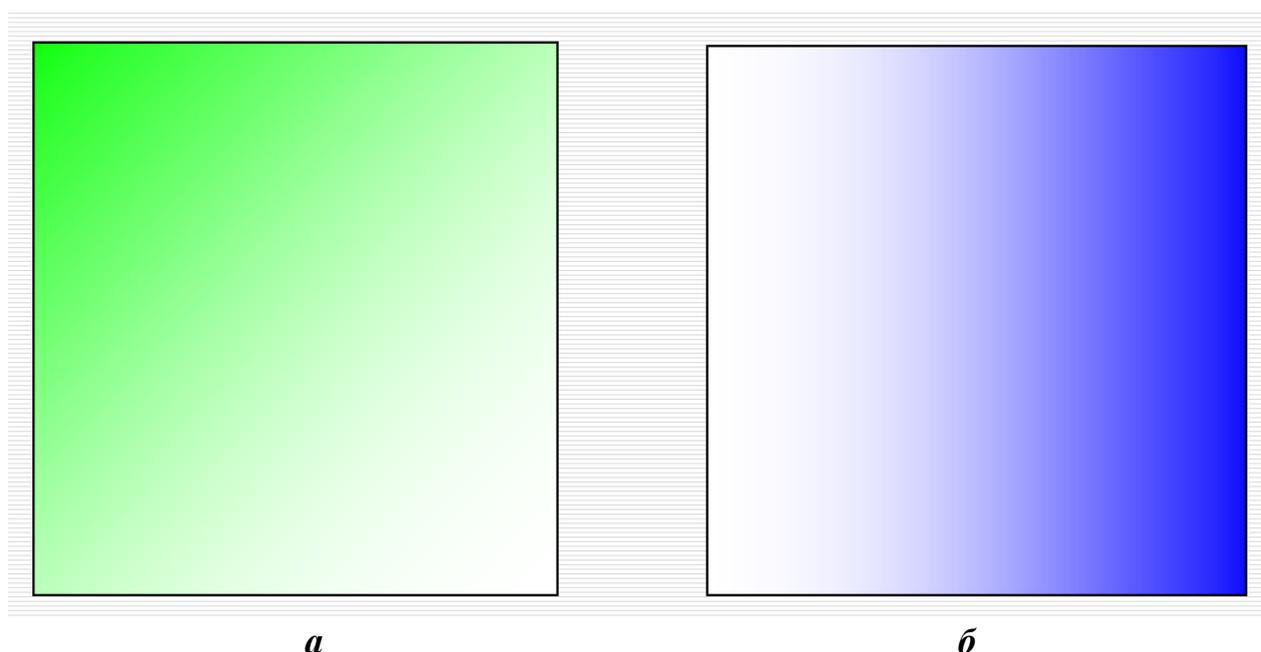


Рисунок 3.9 - Визуальное отображение математической модели распределения цветов в колориметрической эталонной матрице: а - зеленого; б - синего

Следующим этапом получения эталонной матрицы является объединение трех описанных выше математических моделей в одну результирующую модель (рис. 3.10). Результирующая эталонная матрица содержит значения сочетаний яркости трёх цветов в каждой точке плоскости, что обуславливает возможность каждой метки эталонной матрицы осуществить переход от цветового выражения каждой метки эталонной матрицы к метрическому с учетом заданной цены деления, то есть определить координаты меток по осям X и Y . Третью координату поверхности измеряемого объекта Z получают при совмещении двух и более изображений объекта с помощью программного обеспечения.

Таким образом, описан способ получения колориметрической эталонной матрицы, которую можно использовать для изготовления материальной матрицы и формирования виртуального измерительного инструмента (ВИИ). В соответствии с известными параметрами эталонной матрицы можно на принтере изготовить цветную материальную матрицу.

цветов и некачественная бумага могут повлиять на степень соответствия параметрам, описанным в эталонной матрице, и, следовательно, на точность измерений, проводимых с помощью цветного *ВИИ*.

По результатам изготовления материальной колориметрической матрицы на типографских предприятиях было выявлено, что на точность передачи эталонной информации в данные материальной матрицы значительно влияют характеристики печатного оборудования и способы организации печатного процесса.

При изготовлении колориметрической эталонной матрицы в условиях типографской печати отмечены следующие проблемы:

- отсутствие единого регламента выполнения операций;
- необходимость пересчета данных из одной цветовой системы в другую, например, из *RGB* в *CMYK*;
- сложность достижения соответствия цветов, формирующихся на различных устройствах допечатного процесса (мониторах, принтерах и т.д.).

Кроме того на отображения колориметрической матрицы, полученные по единой эталонной матрице, влияет вид используемых считывающих устройств. Образцы изображений, полученных разными считывающими устройствами с одной материальной колориметрической матрицы, представлены на рисунке 3.11. В качестве считывающих устройств использовались следующие камеры: *Nikon Coolpix 8700*, *Canon EOS 500 D Kit*, *Canon EOS 550D Kit*, *Nikon D3000*, *Nikon D5000 Kit*, технические характеристики которых приведены в *приложении Б*.

Оценка распечатанных материальных матриц проводилась с помощью колориметра (модель 528 фирмы *X-Rite*), позволяющего измерить интенсивность светового потока благодаря его разделению на *RGB*-компоненты (аналогично действию человеческого глаза, цветного монитора или сканера). В ходе эксперимента колориметром было измерено количество красного, синего и зеленого света, отраженного от материальной матрицы в

определённой точке. Измерения проводились при стандартном освещении *D50*.



Рисунок 3.11 - Отображения колориметрической матрицы, полученные по единой эталонной матрице разными считывающими устройствами

Затем результаты измерений визуально интерпретировались и формировалось графическое представление цветового пространства (рис. 3.12).

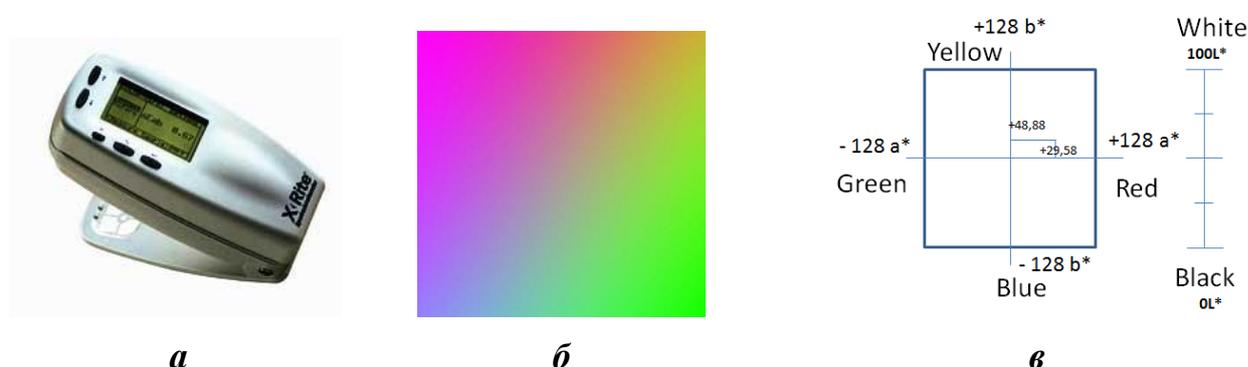


Рисунок 3.12 - Средства проведения колориметрических исследований: а - колориметр, б - отображение материальной матрицы, в - графическое представление цветового пространства в заданной точке

Проведенный эмпирический анализ практического использования в системе *3D* сканирования сочетания колориметрических матриц и оптических считывающих устройств позволил выявить ряд недостатков:

- ✓ Детальное рассмотрение полученных отображений выявило существование отличий между ними, что свидетельствует об отсутствии гарантирования точности метрических данных, полученных с их помощью.
- ✓ Метрическая информация, заложенная в цветном ВИИ, доступна только средствам технического зрения и не распознается органами чувств человека.
- ✓ При распознавании метрической информации невозможно точно идентифицировать отдельные метки, что препятствует разработке программного обеспечения системы.

Таким образом, сложность распознавания информации, заложенной в колориметрической матрице, затрудняет использование этой матрицы для измерения фигур потребителей в швейной промышленности.

Тем не менее, за рубежом на системном уровне исследуются методы преобразования цветового пространства и цифровых полутонов [324], что предполагает возможность использования разработанного виртуального измерительного инструмента для изучения других объектов сложной формы.

Разработка виртуального измерительного инструмента из геометрических элементов.

При формировании *ВИИ* в качестве метки может выступать геометрическая фигура заданной формы и величины, например прямоугольник. При этом каждая сторона выбранных прямоугольников не должна превышать величины погрешности измерений, принятой в отрасли промышленности. Применение геометрических элементов в качестве метки позволяет использовать считывающие устройства с небольшой разрешающей способностью.

Таким образом, эталонная матрица из геометрических элементов, размером $m \times n$, это совокупность меток, например, квадратной формы двух контрастных цветов, расположенных в виде прямоугольной таблицы из m строк и n столбцов. Сочетание цветов меток может быть различным, в том числе сочетание белого и черного или зеленого и красного цветов. Размер матрицы $A (m, n)$ определяется размерами изучаемого объекта и масштабом

используемых меток. Размер меток определяется разрешающей способностью считывающего устройства. Фрагмент эталонной матрицы из геометрических меток чёрного и белого цветов представлен на рисунке 3.13.

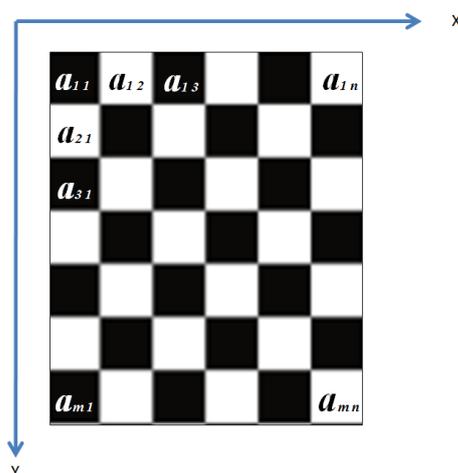


Рисунок 3.13 - Фрагмент эталонной матрицы из геометрических меток черного и белого цветов

Примеры визуального отображения материальных матриц с метками черного и белого цветов различного размера и формы представлены на рисунке 3.14. Отображения материальных матриц получены с помощью цифрового фотоаппарата разрешением 3,2 млн. эффективных пикселей, которое позволяет точно идентифицировать границы геометрических элементов.

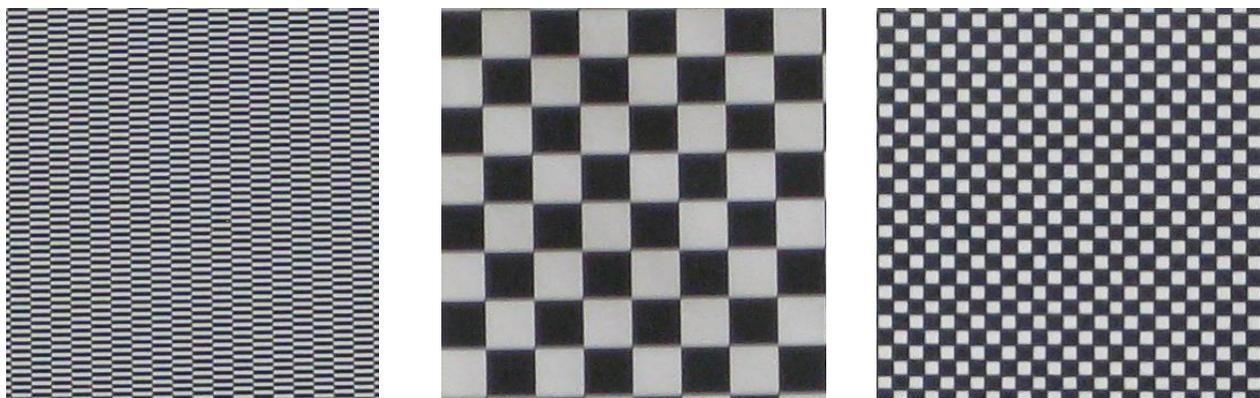


Рисунок 3.14 - Отображение фрагментов материальных матриц с различными геометрическими метками черного и белого цветов

Возможность использования геометрических элементов в качестве меток эталонной и материальной матриц *ВИИ* определяется возможностью автоматического программного распознавания на снимке материальной

матрицы геометрических меток, количеством артефактов (то есть объектов, отсутствующих на материальной матрице, но появившихся на снимке), а также скоростью распознавания меток.

В процессе проведения исследования разработан ряд материальных матриц, состоящих из следующих геометрических элементов:

- ✓ метки красного и синего цвета;
- ✓ метки синего и зеленого цвета;
- ✓ метки красного и зеленого цвета;
- ✓ метки черного и белого цвета.

Размер меток варьировался от 1 мм до 10 мм с шагом в 1 мм. Примеры эталонных матриц с метками разного цвета приведены на рисунке 3.15.

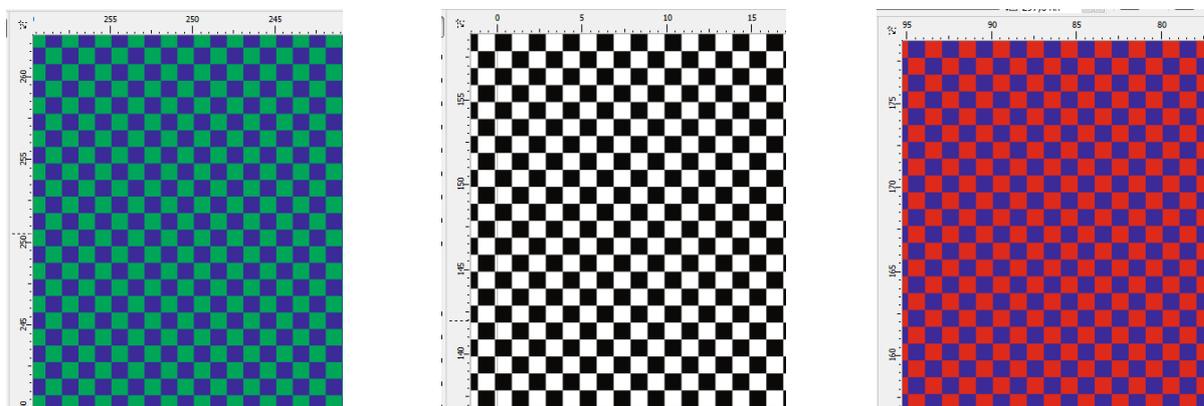


Рисунок 3.15 Эталонные матрицы с геометрическими метками различных цветов

Для экспериментального определения рационального вида эталонной матрицы из геометрических элементов, позволяющей определять координаты точек поверхности с высокой точностью, сформулированы следующие условия:

- Размер метки материальной матрицы может варьироваться в диапазоне от 1 мм до 10 мм.
- В качестве меток должны использоваться геометрические элементы простейшей формы, такие как квадрат и прямоугольник.
- В качестве считывающих устройств следует использовать фотокамеры с различными оптическими характеристиками, которые приведены в *приложении Б*.

➤ Разрешающая способность фотокамер может варьироваться от 3 до 18 Мп.

В процессе эксперимента с помощью программного обеспечения сформировано 40 эталонных матриц и с использованием широкоформатного принтера изготовлено 40 материальных матриц с геометрическими метками различной формы и цветов. Размер готовой материальной матрицы составлял 150 см x 240 см.

Для получения информации о размерных характеристиках объекта с помощью фотокамеры использовалась «универсальная методика формирования виртуального измерительного инструмента», представленная в п. 3.2.

Схема расположения материальной матрицы и считывающего устройства приведена на рисунке 3.16. Основным требованием к расположению материальной матрицы перед считывающим устройством является расположение матрицы таким образом, чтобы метки выходили за границы кадра.

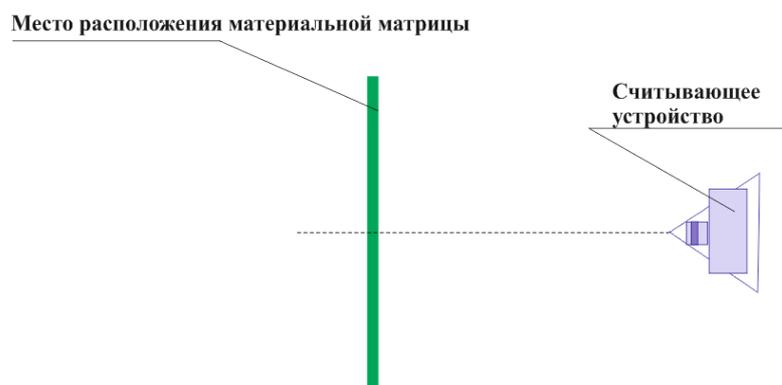


Рисунок 3.16 - Схема расположения оборудования для экспериментальной реализации 3D сканирования

В качестве считывающих устройств использовались следующие фотокамеры: камера *Nikon Coolpix 8700*, камера *Canon EOS 500 D Kit*, камера *Canon EOS 50D Kit*, камера *Nikon D3000*, камера *Nikon D5000 Kit*.

В процессе выполнения испытаний было получено по 10 снимков каждой камерой для каждой матрицы. В ходе эксперимента осуществлялось изучение влияния изменения расстояния от считывающего устройства до материальной матрицы, а впоследствии и до измеряемого объекта на результат измерений. Оценка этого влияния проводилась с помощью специально разработанного программного обеспечения, впоследствии вошедшего в качестве модуля в программное обеспечение разработанной системы 3D сканирования. Протоколы испытаний приведены в *приложении В*.

В результате испытаний установлена наибольшая эффективность процесса получения размерных характеристик объекта сложной формы при сочетании камеры *Canon EOS 500D* и матрицы из геометрических элементов зеленого и красного цветов, расположенных в шахматном порядке с величиной сторон 10 x 10 мм.

Основной задачей проведения эксперимента являлось выявление технических средств разрабатываемой 3D системы сканирования, которые обеспечат максимальную точность данных о форме поверхности измеряемого объекта. При этом, чем ниже разрешающая способность считывающих устройств, тем меньше стоимость системы технического зрения и выше доступность системы для отечественных производителей.

Оценка влияния внешнего фона на эффективность системы технического зрения.

С помощью различных видов фотокамер была выполнена последовательность действий в соответствии с «универсальной методикой проведения измерения заданных параметров поверхности измеряемого трехмерного объекта» (представленной в п. 3.2) для фигуры человека, размещенного на фоне следующих видов:

- ✓ фон белого цвета;
- ✓ фон синего цвета;
- ✓ фон зеленого цвета;
- ✓ фон голубого цвета;

✓ фон красного цвета.

В процессе выполнения эксперимента было получено по 10 снимков каждой фотокамерой для каждой матрицы. И по 36 снимков фигуры человека на каждом фоне. Пример фотоснимка фигуры на красном фоне и обработанного в автоматическом режиме изображения для распознавания контуров фигуры приведен на рисунке 3.17.



**Рисунок 3.17 – Экспериментальная оценка влияния внешнего фона:
а - фотоснимок фигуры на красном фоне, б - результат автоматического
распознавания фигуры**

Оценка влияния внешнего фона на результат автоматического распознавания фигуры проводилась с помощью разработанного модуля программного обеспечения для работы с матрицами и предварительной обработки фотоизображений. Модуль реализован в виде библиотеки на языке С. Протоколы испытаний приведены в *приложении В*.

По результатам испытаний оптимальным явилось сочетание камеры *Canon EOS 550 D*, матрицы из геометрических элементов синего и красного цветов, расположенных в шахматном порядке с величиной сторон 10 x 10 мм, и использование синего фона при проведении измерений фигуры человека.

Разработка виртуального измерительного инструмента в виде линий штрих-кода.

В качестве меток *ВИИ* могут выступать элементы штрих-кода, принятого в Европейской системе кодирования *EAN* и использующего 13 символов. За основу были взяты коды, наносимые на продовольственные и непродовольственные товары, содержащие последовательность из 13-ти цифр, последняя из которых соответствует расчетному значению. Формирование 13-значных штриховых кодов имеет общий подход:

- ❖ Штриховой код разделен на две равные области: левую и правую, граница которых отмечена маркером в виде двух вертикальных линий одинаковой толщины (по 0,5 мм) с интервалом в 1,5 мм между ними, который имеет большую длину по сравнению с остальными линиями (рис. 3.18, а).
- ❖ Первая цифра числового кода выносится за границу первой половины штрихового кода (левее первого маркера), а оставшиеся 12 чисел разбиваются на две равные группы так, что между двумя вертикальными маркерами помещается группа из шести цифр, и структура штрих-кода в общем виде имеет следующий вид: *«первая цифра кода - маркер - шесть цифр - маркер - шесть цифр - маркер»*.
- ❖ Каждой цифре штрихового кода соответствует определённый графический примитив (рис. 3.18, б), представляющий собой две линии различной толщины, разделённые пробелом.
- ❖ Ширина графических примитивов штрихового кода варьируется от 2,0 мм до 4,5 мм включительно и представляет собой сумму ширин первого и второго графических примитивов и интервала между ними.



а

б

Рисунок 3.18 - Штриховой код: а – внешний вид; б- соответствие между цифрой и графическим примитивом

В результате сопоставления более 200 различных штриховых кодов, предварительно приведённых к общему масштабу, выявлено соответствие между графической и цифровой информацией штрих-кода. Определён внешний вид графических примитивов для цифр от единицы до пяти. В результате анализа торговых штрих-кодов получены данные, позволяющие самостоятельно генерировать штрих-коды, чтобы разработать эталонную матрицу виртуального измерительного инструмента нужного размера и с требуемой ценой деления. При формировании штрих-кодowego *ВИИ* предложено использовать цифры от единицы до пяти и графическую информацию, необходимую для визуализации их последовательности (рис. 3.19). В штрих-кодowym *ВИИ* может использоваться большее количество цифр и соответствующих им графических примитивов.

Число	Обозначение	Размеры
1	2	3
1		1,0×1,0×1,0
2		0,5×1,0×1,5
3		1,5×1,0×0,5
4		1,0×1,5×0,5
5		0,5×1,5×1,0

Рисунок 3.19 – Соответствие графических примитивов и цифр штрих-кода

Основное условие формирования эталонной матрицы штрих-кодowego *ВИИ* – это уникальность сочетания шести стоящих подряд цифр, которые являются метками эталонной матрицы. Толщину линий графических примитивов задают в зависимости от требуемой цены деления *ВИИ*. Фрагмент математической модели эталонной матрицы штрих-кодowego *ВИИ* приведён на рисунке 3.20.

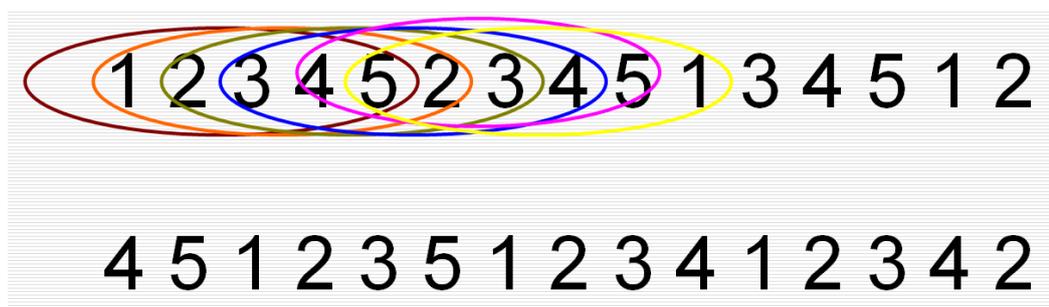


Рисунок 3.20 - Фрагмент математической модели эталонной матрицы из элементов штрих-кода

В рассматриваемом примере ширина любого графического примитива штрих-кода одинакова и составляет 3,0 мм; расстояние между соседними элементами равно 0,5 мм; толщина одной линии графического примитива может варьироваться от 0,5 мм до 1,5 мм; тогда цена деления шкалы данного штрих-кодowego *ВИИ* составляет 3,5 мм.

Шесть меток эталонной матрицы с первой по шестую цифры включительно 123452 соответствуют значению $(3,0+0,5) \times 6 = 21,0$ мм. Тогда следующим шести меткам эталонной матрицы со второй по седьмую цифры соответствует значение $21,0+3,5=24,5$ мм. Для цифр с третьей по восьмую эта величина составит $24,5+3,5=28,0$ мм и так далее до последней метки эталонной матрицы.

Визуальное отображение фрагмента эталонной матрицы из элементов штрих-кода приведено на рисунке 3.21.

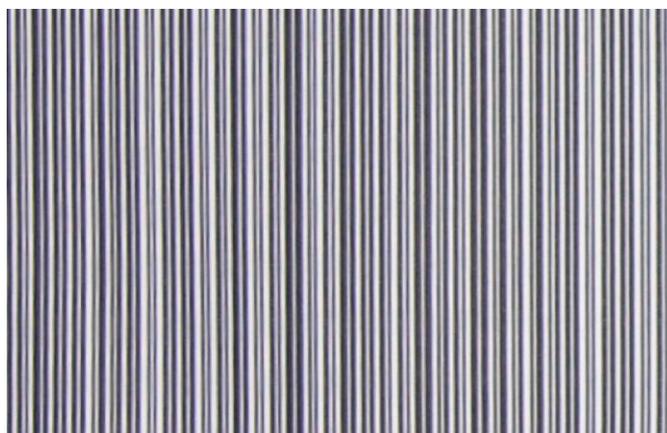


Рисунок 3.21 - Визуальное отображение фрагмента эталонной матрицы из элементов штрих-кода

С помощью стандартных графических программ по математической модели эталонной матрицы создают материальную матрицу. Все сочетания

меток и соответствующие им значения представлены в таблице В1 *Приложения В*.

Для считывания графических примитивов как меток эталонной матрицы и получения информации о размерных характеристиках объекта используется серийный сканер штрих-кодов, расположенный под прямым углом к плоскости материальной матрицы (рис.3.22) и универсальная последовательность действий, описанная в п. 3.2.



Рисунок 3.22 - Сканер штрих-кодов

В процессе проведения измерений с помощью сканера штрих-кодов не нужно удалять материальную матрицу, так как точность отображения меток материальной матрицы обеспечивается за счет малого рассеивания лазерного излучения сканера штрих-кода. При сочетании сканера штрих-кодов с лазерным целеуказателем необходимо разместить устройства таким образом, чтобы горизонтальный луч сканера проходил через точку, образуемую на поверхности лазерным целеуказателем, что позволяет четко определить заданные уровни измерений. При поведении измерений поверхности объекта с помощью сканера штрих-кодов:

- измеряемый объект и материальную матрицу устанавливают позади стеклянного экрана (рис. 3.23);
- сканер штрих-кодов ведется по стеклянному экрану так, чтобы луч лазерного целеуказателя продвигался вдоль уровня проводимого измерения в направлении внешнего контура объекта измерения;

- в момент касания лазерным лучом указателя внешнего контура манекена на требуемом уровне сканер на короткое время приводится в действие.



Рисунок 3.23 - Проведение измерений объекта сканером штрих-кодов

В результате использования штрих-кодowego *ВИИ* информация о значениях величин ординат той или иной точки сразу поступает в память компьютера в виде, удобном для обработки полученных данных. Однако на получение полного комплекса данных о сложной форме поверхности фигуры человека требуется значительное количество времени, что нерационально для промышленного использования при серийном изготовлении одежды, но особенно эффективно при измерении крупногабаритных объектов или контроле качества длинномерных конструкций, таких как трубы или конструкции зданий.

3.4. Разработка математического обеспечения алгоритма определения координат точек поверхности фигуры человека и одежды

В основе формирования *ВИИ* и определения точных координат точек эталонной и материальной матриц лежит информация, полученная с помощью

различного вида считывающих устройств. Данный раздел посвящен разработке математического аппарата, обеспечивающего реализацию алгоритма определения координат точек поверхности фигуры человека и одежды, надетой на фигуру. Для получения координат точек исследуемой поверхности при помощи таких считывающих устройств, как фото-, видео-, *web*-камеры целесообразно использовать методы аналитической геометрии.

Системы координат метки эталонной матрицы и метки материальной матрицы.

Взаимосвязь между координатами меток эталонной матрицы и меток материальной матрицы можно определить с заданной степенью точности с помощью метода определения координат аналитической геометрии, основанного на решении уравнений связи между координатами метки эталонной матрицы и изображения метки материальной матрицы.

Введём системы координат эталонной матрицы и изображения материальной матрицы. Допустим, что о расположении точки S (рис. 3.24) получена информация с помощью считывающего устройства, а именно фотоснимок материальной матрицы. Будем считать, что на фотоизображении нет искажений, вызванных дисторсией объектива фотокамеры, атмосферной рефракцией и другими источниками ошибок. Тогда изображение материальной матрицы можно рассматривать как центральную проекцию меток матрицы на плоскость [91].

Положение меток эталонной и материальной матриц определяют в прямоугольной системе координат $SXYZ$ (рис. 3.24). Система координат $SXYZ$ — правая, она используется обычно при изучении взаимного положения точек объекта. Начало и направления координатных осей этой системы могут быть выбраны произвольно. В частном случае начало совмещают с точкой фотографирования S , а плоскость SXY устанавливают горизонтально. Координаты изображения меток материальной матрицы можно вычислить по формулам аналитической геометрии [91].

Тогда рассчитать координаты точки a в системе $Sx'y'z'$ можно по формуле (3.1):

$$x' = x - x_0; y' = f; z' = z - z_0. \quad (3.1)$$

По формуле (3.2) преобразования координат в аналитической геометрии получим:

$$\begin{aligned} X' &= a_1(x - x_0) + a_2f + a_3(z - z_0); \\ Y' &= b_1(x - x_0) + b_2f + b_3(z - z_0); \\ Z' &= c_1(x - x_0) + c_2f + c_3(z - z_0), \end{aligned} \quad (3.2)$$

где a_1, a_2, a_3 — косинусы углов, составляемых осью SX с осями Sx', Sy', Sz' (табл. 3.3);

b_1, b_2, b_3 — косинусы углов, составляемых осью SY с осями Sx', Sy', Sz' ;

c_1, c_2, c_3 — косинусы углов, составляемых осью SZ с осями Sx', Sy', Sz' ;

f — фокусное расстояние считывающего устройства (фото или видеокамеры) ($f = So$).

Углы между осями координат называются направляющими. Косинусы направляющих углов связаны между собой шестью независимыми уравнениями. Снижению погрешности расчётов способствует отождествление координат меток материальной и эталонной матрицы для формирования виртуального измерительного инструмента.

Таблица 3.3 – Косинусы направляющих углов между осями координат

Координатные оси	Sx'	Sy'	Sz'
SX	a_1	a_2	a_3
SY	b_1	b_2	b_3
SZ	c_1	c_2	c_3

Для определения зависимости между координатами меток эталонной матрицы и координатами меток материальной матрицы воспользуемся формулой аналитической геометрии (3.3):

$$\begin{aligned} X - X_s &= (Z - Z_s) \frac{a_1(x - x_0) + a_2(y - y_0) + a_3f}{c_1(x - x_0) + c_2(y - y_0) + c_3f}; \\ Y - Y_s &= (Z - Z_s) \frac{b_1(x - x_0) + b_2(y - y_0) + b_3f}{c_1(x - x_0) + c_2(y - y_0) + c_3f}. \end{aligned} \quad (3.3)$$

На ранее представленном рисунке 3.24 отображено преобразование системы координат материальной матрицы $SXYZ$ с началом в точке S , имеющей координаты (X_s, Y_s, Z_s) в систему координат эталонной матрицы $O X_r Y_r Z_r$ с началом в точке O , имеющей координаты (x_0, y_0, z_0) .

Будем считать, что координаты точки (X_s, Y_s, Z_s) в базовой системе координат $SXYZ$ и координаты (x_0, y_0, z_0) в системе $O X_r Y_r Z_r$ совпадают. В этом случае из аналитической геометрии известно, что существует матрица перехода между ними, представленная формулой (3.4):

$$\begin{pmatrix} X - X_s \\ Y - Y_s \\ Z - Z_s \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \\ c_1 & c_2 & c_3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x - x_0 \\ y - y_0 \\ z - z_0 \end{pmatrix} \quad (3.4)$$

При переводе матричной записи в обычную получим систему уравнений (3.5):

$$\begin{aligned} X - X_s &= a_1(x - x_0) + a_2(y - y_0) + a_3(z - z_0); \\ Y - Y_s &= b_1(x - x_0) + b_2(y - y_0) + b_3(z - z_0); \\ Z - Z_s &= c_1(x - x_0) + c_2(y - y_0) + c_3(z - z_0). \end{aligned} \quad (3.5)$$

Если в третьем уравнении системы (3.5) разделить обе части на выражение, приведенное ниже в формуле (3.6), а затем получившийся результат умножить на первые два уравнения системы (3.5), то будет получено ранее приведенное уравнение (3.3), в котором $(z - z_0)$ обозначено как f .

$$c_1(x - x_0) + c_2(y - y_0) + c_3(z - z_0) \quad (3.6)$$

В связи с расчетом значений проекционных параметров можем считать расстояние $Z - Z_s$ постоянным. Для получения точных координат точки проекции получаем изображение матрицы с регулярно расположенными метками, координаты которых известны. Большое количество меток, нанесенных на материальную матрицу, позволяет считать коэффициенты a_l , b_l и c_l постоянными не для всей фотографии, что неверно, а лишь для малой окрестности исследуемой метки. Если произвести перерасчет коэффициентов в соответствии с формулой (3.7), то уравнения примут вид (3.8) или (3.9).

$$\begin{aligned}c'_1 &= \frac{c_1}{Z - Z_s}; \\c'_2 &= \frac{c_2}{Z - Z_s}; \\c'_3 &= \frac{c_3 f}{Z - Z_s}; \\a'_3 &= a_3 f; \\b'_3 &= b_3 f.\end{aligned}\tag{3.7}$$

$$\begin{aligned}X - X_s &= \frac{a_1(x - x_0) + a_2(y - y_0) + a'_3}{c'_1(x - x_0) + c'_2(y - y_0) + c'_3}; \\Y - Y_s &= \frac{b_1(x - x_0) + b_2(y - y_0) + b'_3}{c'_1(x - x_0) + c'_2(y - y_0) + c'_3}.\end{aligned}\tag{3.8}$$

$$\begin{aligned}(X - X_s)(c'_1(x - x_0) + c'_2(y - y_0) + c'_3) &= a_1(x - x_0) + a_2(y - y_0) + a'_3; \\(Y - Y_s)(c'_1(x - x_0) + c'_2(y - y_0) + c'_3) &= b_1(x - x_0) + b_2(y - y_0) + b'_3.\end{aligned}\tag{3.9}$$

В таком виде, очевидно, что при известных X, X_s, x, x_0, y, y_0 система уравнений является линейной без свободных членов. А значит для получения восьми независимых коэффициентов достаточно восьми уравнений, то есть четырех известных точек матрицы. Таким образом, после обработки

фотоизображения материальной матрицы с помощью методов аналитической геометрии получаем проекцию с точными координатами каждой метки.

Обработка фотоизображения материальной матрицы сводится к пошаговому распознаванию цвета каждой метки и точному позиционированию и определению координат каждой метки.

Построение фигуры человека и одежды по проекциям.

Для описания дальнейшего расчета координат точек исследуемой поверхности фигуры человека или внешней формы одежды введём оси декартовой системы координат (рис. 3.26): ось OX расположена по направлению «голова-ноги», ось OY – по направлению «от левого плеча к правому», ось OZ - по направлению «грудь-спина».

Техническим препятствием для прямого описания всего множества точек поверхности в пространстве является их количество. Так, если фотоизображение фигуры человека состоит из двух-трех тысяч пикселей, то для полного описания формы поверхности фигуры человека будет необходимо зафиксировать 8-27 миллиардов точек, что превышает возможности массовых персональных компьютеров.

Чем больше информации о точках поверхности виртуальной фигуры хранится на жёстком диске, тем больше увеличивается время ее обработки, а также требуется больше оперативной памяти, что увеличивает стоимость разрабатываемой системы 3D сканирования. Поэтому принимаем допущение, что пересечение прямой, параллельной оси OZ , и фигуры человека всегда является отрезком либо пустым множеством, то есть предполагаем, что в этом направлении поверхность виртуальной фигуры не имеет разрывов. Очевидно, что для снижения стоимости промышленной системы 3D сканирования следует наложить ряд ограничений для позы человека: рука не должна размещаться перед туловищем, а одна нога располагаться перед другой, что легко выполнимо при проведении антропометрических измерений.

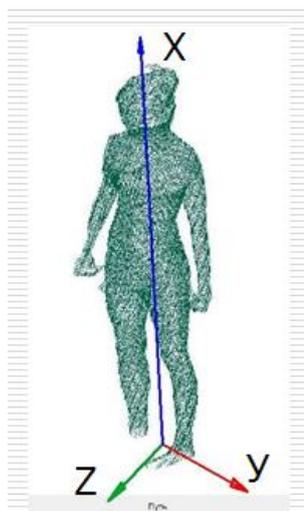


Рисунок 3.26 - Расположение осей декартовой системы координат для измерения поверхности фигуры человека

Суть решаемой математической задачи сводится к нахождению пересечения цилиндра, построенного на проекции изображения объекта на плоскость материальной матрицы, с поверхностью объекта. Так как ось зрения перпендикулярна оси OX , то проекции плоскостей с разными координатами по оси OX на прямую, принадлежащую изображению, могут быть построены независимо. На пересечении края объекта и перпендикуляра к проекции изображения, показанного пунктиром на рисунке 3.27, образуется угол α .

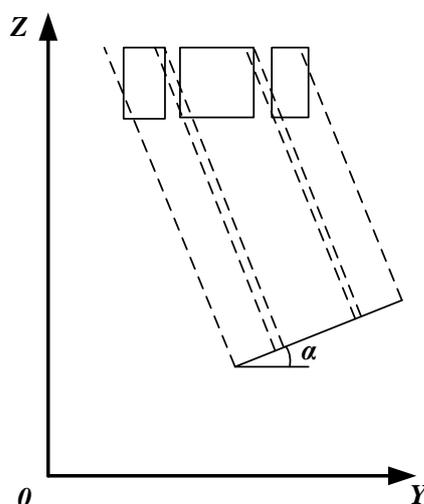


Рисунок 3.27 - Проекция изображения объекта на плоскость материальной матрицы для заданных координат на поверхности объекта

Прямая, на которой лежит край измеряемого объекта, описывается уравнением (3.10):

$$y = const \quad (3.10)$$

Перпендикуляр к проекции изображения описывается уравнением (3.11):

$$z \sin \alpha + y \cos \alpha = const \quad (3.11)$$

Обозначим координату на изображении как y_I , а координату оси как θ . Тогда известно, что когда $y_I = \theta$, перпендикуляр проходит через точку (θ, θ) , а, значит, уравнение принимает вид (3.12):

$$(z - \theta) \sin \alpha + (y - \theta) \cos \alpha = 0 \quad (3.12)$$

Известно, что расстояние между параллельными прямыми, описываемыми уравнениями (3.13) и (3.14), можно определить по формуле (3.15):

$$ax + by + c_1 = 0 \quad (3.13)$$

$$ax + by + c_2 = 0 \quad (3.14)$$

$$d = \frac{|c_1 - c_2|}{\sqrt{a^2 + b^2}} \quad (3.15)$$

В нашем случае знаменатель формулы (3.15) может быть выражен следующим образом (3.16):

$$a^2 + b^2 = \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1 \quad (3.16)$$

Значит уравнение прямой, находящейся на расстоянии $(y_I - \theta)$ от осевой линии, будет выражено уравнением (3.17):

$$(z - \theta) \sin \alpha + (y - \theta) \cos \alpha = y_I - \theta \quad (3.17)$$

Так как считывающее устройство расположено не на бесконечном удалении от объекта измерений, а на конечном расстоянии, необходимо откорректировать проекцию изображения в виде не параллельной, а центральной. В этом случае не будут искажены точки измеряемого объекта в плоскости материальной матрицы, то есть плоскости пространства, в которой находилась материальная матрица в момент считывания информации. При

удалении измеряемого объекта от плоскости материальной матрицы и приближении к считывающему устройству размеры объекта будут излишне увеличенными, а при дополнительном удалении от считывающего устройства – наоборот уменьшенными в связи с перспективой фотоизображения.

Далее требуются уточнения координат в соответствии с уравнениями системы (3.18):

$$\begin{aligned} z' &= z - \theta \\ y' &= z - \theta \\ y_1' &= y_1 - \theta \end{aligned} \quad (3.18)$$

Тогда уравнение перпендикуляра будет описываться уравнением (3.3.19), а точка на плоскости материальной матрицы, принадлежащая проекционному лучу, будет иметь координаты, приведенные в выражении (3.20):

$$z' \sin \alpha + y' \cos \alpha = y_1' \quad (3.19)$$

$$(z', y') = (y_1' \sin \alpha, y_1' \cos \alpha) \quad (3.20)$$

Для центральной проекции изображения уравнение луча проекции будет иметь вид, приведенный в уравнении (3.21), и ему будет принадлежать точка, описываемая координатами, указанными в выражении (3.22):

$$z' \sin(\alpha - \beta) + y' \cos(\alpha - \beta) = C \quad (3.21)$$

$$(y_1' \sin \alpha, y_1' \cos \alpha) \quad (3.22)$$

Подставляя координаты точки в уравнение, получим формулу (3.23), поэтому уравнение приобретает вид (3.24) или (3.25):

$$\begin{aligned} z' \sin(\alpha - \beta) + y' \cos(\alpha - \beta) &= y_1' \sin \alpha \sin(\alpha - \beta) + y_1' \cos \alpha \cos(\alpha - \beta) \\ &= y_1' \cos \beta \end{aligned} \quad (3.23)$$

$$z' \sin(\alpha - \beta) + y' \cos(\alpha - \beta) = y_1' \cos \beta \quad (3.24)$$

$$(z - \theta) \sin(\alpha - \beta) + (y - \theta) \cos(\alpha - \beta) = (y_1 - \theta) \cos \beta \quad (3.25)$$

Итак, с помощью аналитической геометрии выведена формула (3.26) для определения координаты z , определяющей пространственную форму измеряемого объекта. Для оптимизации расчетов целесообразно преобразовать полученное уравнение путем разложения на $\sin \alpha$ и $\cos \alpha$, так как для всего изображения угол α не изменяется, поэтому его синус и косинус можно вычислить однократно. В этом случае формула принимает вид (3.27):

$$z = \frac{(y_1 - \theta) \cos \beta - (y - \theta) \cos(\alpha - \beta)}{\sin(\alpha - \beta)} + \theta \quad (3.26)$$

$$z = \frac{(y_1 - \theta) \cos \beta - (y - \theta)(\cos \alpha \cos \beta - \sin \alpha \sin \beta)}{\sin \alpha \cos \beta - \sin \beta \cos \alpha} + \theta \quad (3.27)$$

Таким образом, на основе теории аналитической геометрии и мурусометрии можно определить координаты любой точки изображения исследуемого объекта благодаря установлению взаимосвязи между эталонной и материальной матрицами, то есть с помощью *ВИИ*. Трехмерная виртуальная 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.

Чтобы упростить и усовершенствовать алгоритм аналитических вычислений для создания *3D* модели тела человека, целесообразно ограничить диапазон поз, в которых должно проводиться антропометрическое обследование. Например, если принять гипотезу симметричности конечностей человека, то можно повысить качество автоматизированного описания формы их поверхности. Однако такой подход может привести к дополнительным проблемам при антропометрическом изучении формы поверхности фигур

людей с ограниченными возможностями, тело которых может не отличаться симметричностью. Поэтому, несмотря на поиск подходов снижающих стоимость разрабатываемой системы 3D сканирования для производителей одежды, важно обеспечить возможность ее всестороннего промышленного применения.

Подводя итог представлению предлагаемых теоретических, методических и аналитических подходов к формированию отечественной технологии 3D сканирования для производителей одежды, можно отметить, что разработка осуществлена в соответствии со следующими принципами:

универсальности, заключающейся в обеспечении возможности использовать широкий спектр считывающих устройств и способов виртуальных измерений, измерять объекты различных размеров и сложных форм, получать оцифрованные поверхности исследуемых объектов, которые можно экспортировать как в специализированные, так и в универсальные САПР;

открытости, заключающейся в обеспечении возможностей расширять диапазон получаемых размерных характеристик и иных параметров поверхности измеряемого объекта по запросу пользователей системы 3D сканирования, что способствует совершенствованию процесса виртуального трехмерного проектирования одежды.

Концепция разработки технологии 3D сканирования для проектирования внешней формы одежды.

Применение методологии интеллектуального 3D сканирования в швейной промышленности позволяет существенно модифицировать процесс автоматизированного проектирования внешней формы одежды, так как обеспечивает возможность оцифровки любой поверхности, то есть получения достоверной цифровой информации о внешней форме как фигуры потребителя, так и готового изделия для экспорта этих данных в САПР или иные компьютерные приложения. На рисунке 3.28 отражены укрупненные модули 2D и 3D проектирования одежды в САПР. Введены модули

проведения виртуальных примерок и удаленных покупок одежды через интернет, модуль получения достоверной информации с помощью системы 3D сканирования о поведении материала в одежде на фигуре потребителя.

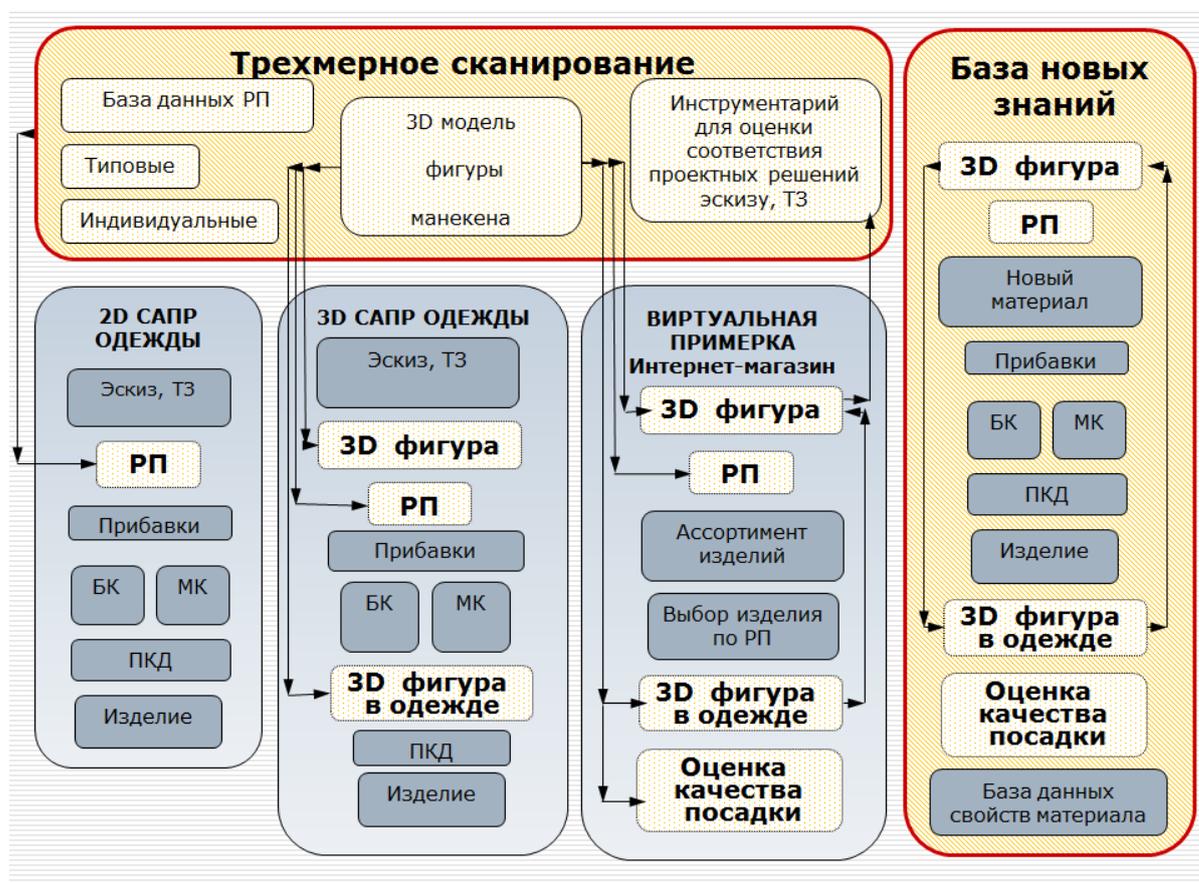


Рисунок 3.28 - Концептуальная модель процесса проектирования внешней формы одежды на основе 3D сканирования

Концептуальная модель процесса автоматизированного 3D проектирования внешней формы одежды отражает последовательность этапов проектирования пространственной формы и конструкции изделия на основе информации, полученной путем 3D сканирования фигуры потребителя. На рисунке 3.28 этапы проектирования, включающие применение 3D сканирования или использование его результатов, выделены бежевым цветом.

Для реализации методологии автоматизированного проектирования внешней формы одежды с помощью 3D сканирования необходимо разработать:

- высокотехнологичный и высокоточный метод бесконтактного измерения трехмерных параметров внешней формы тела человека и одежды на заданной фигуре;

- способ построения виртуальных *3D* моделей фигуры и одежды, отличающихся высокой степенью соответствия антропометрической форме фигуры потребителя;
- метод оценки качества проектных решений швейных изделий по степени соответствия внешней формы готовых образцов одежды эскизу и техническому заданию, антропометрическим параметрам одеваемого субъекта, по отсутствию дефектов посадки изделия на соответствующей фигуре человека.

Поставленные задачи требуют решения как с позиции пользователей системы в лице конструктора или дизайнера, так и с позиции разработчика программного модуля.

Для теоретической реализации *метода бесконтактных трехмерных измерений антропометрических параметров тела человека и внешней формы одежды* на уровне пользователя требуется создание информационно-технической модели стационарной и мобильной систем *3D* сканирования. Для практического промышленного внедрения предлагаемой методологии *3D* сканирования внешней формы фигуры человека в одежде и без нее важна разработка опытных образцов отечественных систем *3D* сканирования, документации для их практического использования. В качестве методологического обеспечения процесса *3D* сканирования в швейной промышленности следует представить методику проведения бесконтактных массовых и индивидуальных антропометрических обследований, способствующих повышению удовлетворенности населения отечественными швейными изделиями.

С точки зрения инженера-разработчика программного модуля *метод бесконтактных трехмерных измерений антропометрических параметров тела человека и внешней формы одежды* реализуется в виде математических моделей и алгоритмов описания сложных пространственных поверхностей тела человека и внешней формы одежды, для определения координат любых

точек поверхности и построения достоверных абрисов или сечений в заданных точках.

Метод оценки проектных решений швейных изделий по соответствию техническому эскизу и техническому заданию предусматривает использование системы 3D сканирования в качестве инструментария для проведения сопоставления оцифрованной внешней формы виртуального эскиза и готового изделия; для накопления базы знаний и совершенствования современных методик конструирования швейных изделий различного назначения; для учета влияния особенностей телосложения человека на конструкции деталей одежды и свойств материалов на внешнюю форму швейных изделий.

Решение и реализация перечисленных выше задач составляют основу информационного, методического, аппаратного и программного обеспечения методологии проектирования внешней формы одежды на основе 3D сканирования.

Выводы по третьей главе:

1. Сформулирована научная проблема, лежащая в основе разработки технологии 3D сканирования объектов сложной пространственной формы, состоящая в получении информации о координатах любой точки поверхности исследуемого объекта и о взаимном расположении точек относительно друг друга.
2. Определена сущность технологии 3D сканирования как последовательности действий, обеспечивающей получение исходной информации, необходимой для построения виртуальной трехмерной дискретной модели фигуры человека, одежды или любого другого пространственного объекта.
3. Предложена научная концепция «мурусометрии» как совокупности методических приёмов бесконтактного исследования и определения параметров поверхности объектов сложной формы. Введены новые термины и понятия технологии 3D сканирования, даны их определения, в том числе

«мурус» как система технического зрения для создания цифровых изображений и определения заданных 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.

4. Определено место «мурусометрии» 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.

5. 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.

6. Установлены существующие математические зависимости между координатами эталонного и измеряемого объектов, которые могут распространяться на широкий круг измеряемых объектов. В зависимости от особенностей исследуемых объектов: их размера, расположения, вероятного места проведения измерений проектируются различные виртуальные измерительные инструменты, таким образом, чтобы координаты эталона, используемого для сравнения, были сопоставимы с координатами поверхности измеряемого объекта.

7. Предложен принципиально новый виртуальный измерительный инструмент, предназначенный для получения данных о форме поверхности и метрических характеристиках объекта и представляющий собой математическую модель, содержащую парную информацию о координатах каждой метки эталонной и материальной матриц. *ВИИ* включает в себя эталонную матрицу, материальную матрицу, считывающее устройство и отображение материальной матрицы.
8. Установлено, что на повышения степени автоматизации и точности измерений системы *3D* сканирования влияет количество используемых считывающих устройств и их расположение относительно измеряемого объекта.
9. Выделена универсальная последовательность действий, характерная для всех модификаций предлагаемой системы *3D* сканирования независимо от типов считывающих устройств и виртуальных измерительных инструментов, включающая блок действий по формированию виртуального измерительного инструмента, осуществляемых однократно при настройке оборудования, и блок действий по проведению измерений, выполняемых многократно для исследования поверхностей объектов.
10. Предложен ряд способов формирования эталонной матрицы с помощью пропорционального сочетания трех заданных цветов в каждой метке; в различных пропорциях; представление меток как геометрических элементов или элементов штрих-кодов. Сформулированы условия для выбора и использования меток матриц.
11. Разработан метод формирования цветного виртуального измерительного инструмента на основе меток эталонной матрицы, отражающей математическую модель визуального распределения количественного содержания трёх различных цветов в одной точке путем определения направления изменения интенсивности каждого цвета или других количественных характеристик используемых цветов. Объединение трех математических зависимостей распределения каждого из цветов в одну

математическую модель обуславливает осуществление перехода от цветового выражения к метрическому с учетом заданной цены деления, то есть определение координат любых меток по осям X и Y , в то время как координату Z получают при совмещении двух и более изображений объекта с помощью программного обеспечения.

12. Разработан метод формирования виртуального измерительного инструмента с метками в виде контрастных геометрических фигур заданной формы и величины, позволяющий использовать считывающие устройства с небольшой разрешающей способностью. Выявлено влияние внешнего фона на эффективность системы технического зрения.

13. Разработан метод формирования виртуального измерительного инструмента с метками в виде элементов штрих-кода, каждой цифре которого соответствует определённый графический примитив, представляющий собой две линии различной толщины, разделённые пробелом. Разработан способ генерирования штрих-кодов для создания эталонных матриц заданного размера с требуемой ценой деления. Определён внешний вид графических примитивов для цифр от единицы до пяти для визуализации их последовательности.

14. Теоретически обоснованы условия проведения измерений объекта, сформулированы принципы формирования возможных видов виртуальных измерительных инструментов, предлагаемых для проведения измерений объектов различной формы. Проведены испытания материальных и эталонных матриц, осуществлен выбор оптимального сочетания считывающих устройств, эталонной и материальной матриц для обеспечения высокой точности получаемых результатов.

15. Разработан математический аппарат описания процесса 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. На основе теории аналитической геометрии разработано математическое

обеспечение алгоритма определения координат точек поверхности фигуры человека и одежды.

16. Трехмерная виртуальная 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.

17. 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.

4. РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКОГО, ПРОГРАММНОГО И ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМЫ ТРЕХМЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ

Для эффективного функционирования системы 3D сканирования важно разработать информационно-техническую модель, определяющую механизм выбора, комплектования, размещения технических средств и создания программного обеспечения процесса изучения поверхности измеряемых объектов. Универсальное использование системы 3D сканирования в швейной промышленности предполагает реализацию следующих функций:

- ✓ распознавание формы и размеров плоских и пространственных объектов для оцифровки бумажных лекал швейных изделий, типовых манекенов и фигур потребителей;
- ✓ определение любых размерных признаков (РП) внешней формы фигуры человека (проекционных, дуговых, обхватных, по поверхности фигуры, угловых);
- ✓ построение горизонтальных и вертикальных сечений поверхности измеряемого объекта и его 3D модели;
- ✓ сопоставление 3D моделей тела человека и внешней формы одежды на заданной фигуре;
- ✓ оценка соответствия внешней формы готового швейного изделия виртуальной 3D модели эскизного задания дизайнера и 3D модели проектного решения конструктора.

Для промышленного внедрения технологии 3D сканирования в швейной промышленности целесообразно ее реализовать в виде опытных образцов:

- *дигитайзера* – для перевода в цифровой формат информации с плоских бумажных носителей, в том числе архива лекал деталей изделий, технических эскизов или иной проектной документации;

- *мобильной системы 3D сканирования* – для оцифровки типовых и индивидуальных фигур потребителей, отшитых образцов проектируемых изделий или готовой одежды на малых и средних предприятиях отрасли, доступной отечественным производителям по стоимости и компактной по занимаемой площади;
- *стационарной системы 3D сканирования* – для высокоточной и высокопроизводительной оцифровки объектов сложных форм в научных и промышленных центрах.

4.1. Разработка технического обеспечения технологии трехмерного сканирования

Сканирование поверхности измеряемых объектов включает в себя процесс получения цифровой, визуальной и метрической информации с помощью считывающих устройств, автоматическую обработку полученных данных, интерактивное выполнение запросов оператора и последующий экспорт цифровой информации в САПР одежды. Обобщенная схема процесса получения цифровой информации, характеризующей параметры фигуры человека, с помощью 3D сканирования отражена на рисунке 4.1.

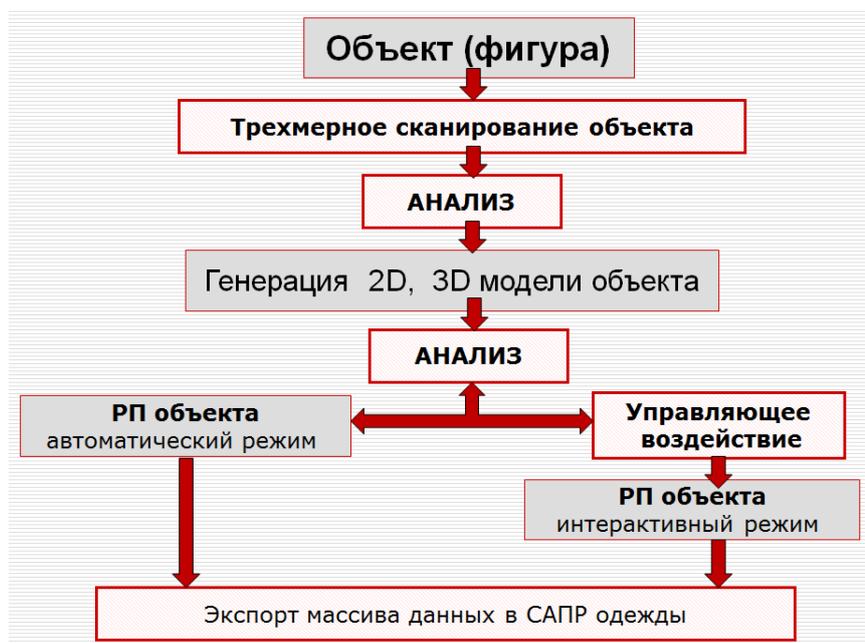


Рисунок 4.1 - Обобщенная схема процесса измерения фигуры человека с помощью 3D сканирования

На основе обобщенной схемы получения заданных антропометрических параметров разработана принципиальная информационно-техническая модель системы 3D сканирования, представляющая собой взаимосвязанную совокупность технических средств, методов и персонала, необходимых для хранения, обработки и выдачи требуемой информации (рис. 4.2).

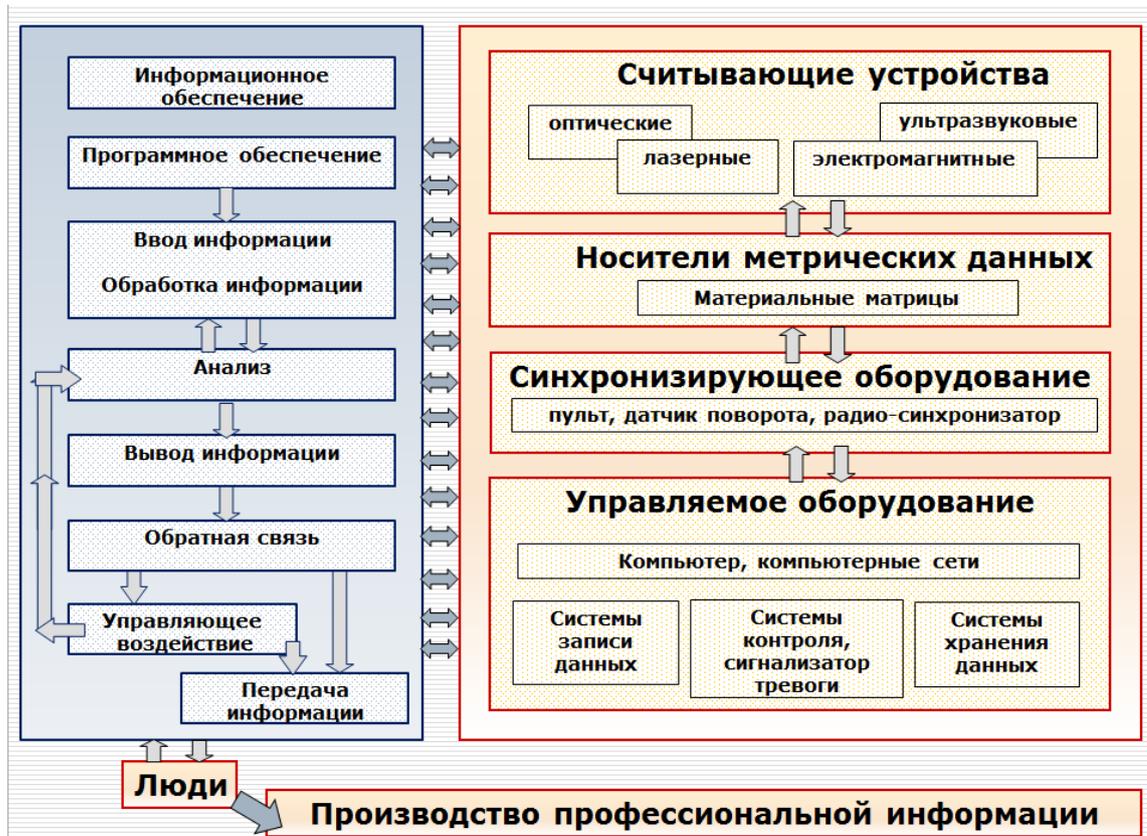


Рисунок 4.2 - Информационно-техническая модель системы 3D сканирования

Информационный блок информационно-технической модели системы 3D сканирования выделен на рисунке 4.2 серым цветом, и отражает процесс сбора, хранения, обработки, анализа, поиска, вывода информации, необходимой в процессе принятия решений по определению антропометрических характеристик.

Процессы, обеспечивающие работу информационной части системы 3D сканирования, условно можно представить в виде следующей последовательности:

- ✓ *ввод информации* из внешних или внутренних источников;

- ✓ *обработка входной информации* в соответствии с задачами, поставленными конструктором одежды;
- ✓ *вывод информации* для представления пользователям (конструктору, индивидуальному заказчику и др.) или для передачи в другую систему, например, в САПР одежды;
- ✓ *обратная связь* с оператором системы *3D* сканирования для коррекции, отражения и регистрации информации.

Техническая часть информационно-технической модели, представлена на рисунке 4.2 бежевым цветом и отражает технические характеристики системы *3D* сканирования, обеспечивающие возможность ее эксплуатации и развития. Техническая часть системы *3D* сканирования включает в себя оборудование и аппаратные средства, предназначенные для сбора, передачи, хранения, обработки и представления информации в удобной для пользователя форме.

Условием надежности технического обеспечения системы *3D* сканирования является требование централизованного управления и регулирования параметров проведения измерений. Измерение, контроль и регистрация размерных характеристик, а также построение *3D* модели объекта должно осуществляться в широком диапазоне. Для швейной отрасли диапазон измерений определяется размерами объектов, изучаемых при проектировании одежды, в том числе фигуры человека, его головы, верхних и нижних конечностей, одежды, манекенов, шляпных болванок и т.д., и лежит в пределах от 0,1 до 2 м. В соответствии с принятым диапазоном и заданной точностью измерений формируются требования к виртуальному измерительному инструменту системы, виду и размерам эталонной и материальной матриц.

Для обеспечения передачи информации от считывающих устройств в компьютер могут использоваться следующие способы: беспроводная связь- радиосигнал (*WI-FI*, *Bluetooth*), проводная связь (порты *USB*, оптические каналы). Сигнал для поступления информации от считывающих устройств в

компьютер может дистанционно передаваться с помощью пульта управления или воздействия оператора через интерфейс программного обеспечения. В результате изучения поверхности измеряемого объекта и применения виртуального измерительного инструмента информация от считывающих устройств поступает в компьютер, где с помощью программного обеспечения создается *3D* модель объекта, по которой можно измерить и зафиксировать получаемые значения размерных признаков с выбранным уровнем точности производимых измерений до четырех знаков после запятой.

Техническая структура системы *3D* сканирования определяется режимом ее функционирования для оцифровки плоских или трехмерных объектов [120]. Техническое обеспечение системы *3D* сканирования – это рациональное сочетание считывающих устройств, материальных и эталонных матриц, цвета фона, на котором отображается измеряемый объект, и режима управления процессом получения информации об изучаемой поверхности.

Комплекс технических средств системы *3D* сканирования формируется по иерархическому принципу и состоит из считывающих устройств для получения визуальной, цифровой и метрической информации об объекте, компьютерного оборудования, программного обеспечения, автоматических регуляторов для синхронизации работы считывающих устройств, устройств управляющего характера, фильтрации средств отображения информации, устройств связи оператора с объектом управления (пульта, клавиатура и панели управления), устройств ввода и отображения информации.

Компьютерное оборудование и устройства получения информации представляют собой серийную электронную аналоговую и цифровую аппаратуру. Техническая структура системы *3D* сканирования учитывает требования к подготовке, вводу и обработке информации, объем используемой информации, необходимую скорость и производительность

работы комплекса, обеспечивает оператору возможность интерактивной работы оператора и корректировки процесса измерений.

Синтез технической структуры системы *3D* сканирования осуществлялся в два этапа, на первом из которых определялась пригодность технических средств моделирования алгоритмической структуры системы *3D* сканирования, а на втором выдвигались требования по доработке серийных технических средств, чтобы обеспечить их рациональное использование в составе программно-технического комплекса и усовершенствовать программное обеспечение [121]. Таким образом, основу технической структуры системы *3D* сканирования составляет материальное оборудование из серийной электронной аналоговой и цифровой аппаратуры и программное обеспечение.

Разработка технического решения стационарной системы 3D сканирования.

При поддержке Минпромторга РФ, осуществляемой в рамках Государственного контракта № 10411.0816900.19.046 от 13.04.2010 г., автором разработан «бесконтактный измерительный комплекс для производства продукции легкой промышленности», представляющий собой стационарную систему *3D* сканирования, принципиальная схема размещения оборудования в которой представлена на рисунке 4.3 [120].

В состав комплекса входят:

- 12 камер, 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.

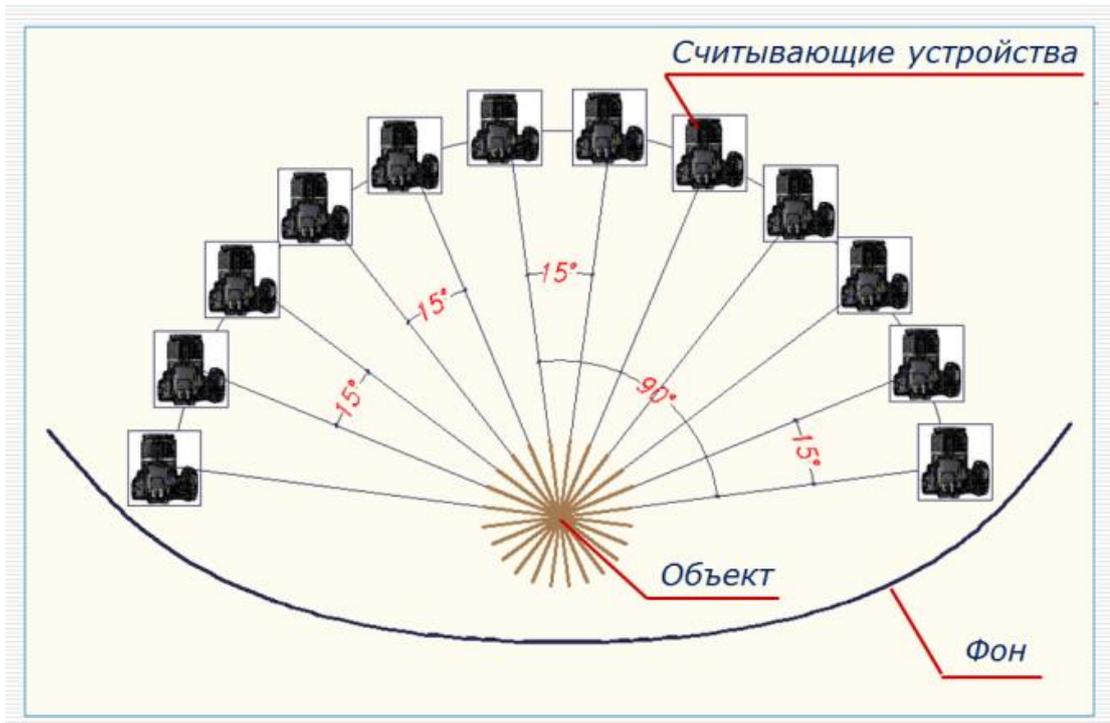


Рисунок 4.3 - Принципиальная схема стационарной системы 3D сканирования

Внешний вид стационарной 3D системы сканирования представлен на рисунке 4.4. Объект измерения следует размещать согласно специальным меткам в виде рисунков стоп на платформе, установленной в центре дуги со считывающими устройствами.



Рисунок 4.4 - Внешний вид стационарной системы 3D сканирования

Перед установкой платформы для измерения объекта проводят настройку оборудования, располагая уникальную материальную матрицу перпендикулярно линии считывания каждой камеры через центр дуги, на которой расположены камеры, и получают информацию о матрице со всех камер поочередно. Схема установки материальной матрицы относительно одной из камер представлена на рисунке 4.5. Размер материальной матрицы должен превышать величину изучаемого объекта.



Рисунок 4.5 - Схема положения материальной матрицы для настройки оборудования

Расстояние от измеряемого объекта до места расположения камер не является постоянным и может изменяться в соответствии с размерами помещения, оптическими свойствами считывающих устройств, величиной измеряемого объекта достаточно того, чтобы исследуемый объект попадал в зону охвата считывающего устройства.

Разработанная система выполняет следующие функции:

- ✓ получение информации со считывающих устройств или внешнего носителя для генерации виртуальной *3D* модели объекта;
- ✓ построение и отображение сгенерированной *3D* модели объекта;
- ✓ построение и отображение сечений виртуального *3D* изображения в горизонтальной, фронтальной и сагиттальной плоскостях;

- ✓ измерение расстояний на поверхности 3D изображения между любыми точками оцифрованной модели объекта в интерактивном режиме;
- ✓ измерение проекционных, дуговых, обхватных, угловых размерных признаков поверхности объекта;
- ✓ сохранение результатов измерений;
- ✓ экспорт полученных данных в системы автоматизированного проектирования.

При проведении измерений с помощью опытного образца системы 3D сканирования на фигуре изучаемого субъекта не должно быть синей одежды, чтобы не сливаться с выбранным фоном. Спецификация оборудования опытного образца стационарной системы 3D сканирования и дигитайзера приведена в *Приложении Г*.

Разработка технического решения мобильной системы 3D сканирования.

В соответствии с рекомендациями, полученными от представителей малых предприятий швейной промышленности, был разработан опытный образец малогабаритной мобильной системы 3D сканирования, который имеет компактные размеры и не требует выделения отдельного помещения для его размещения. Комплекс легко монтируется, занимает небольшую площадь, обеспечивает стабильность результатов измерений, отличается невысокой стоимостью оборудования и программного обеспечения. В состав комплекса входит следующее оборудование: одна фотокамера; поворотная платформа; система синхронизации работы оборудования, управляемая дистанционно; компьютер и монитор; измерительная кабина, состоящая из двух разборных секций.

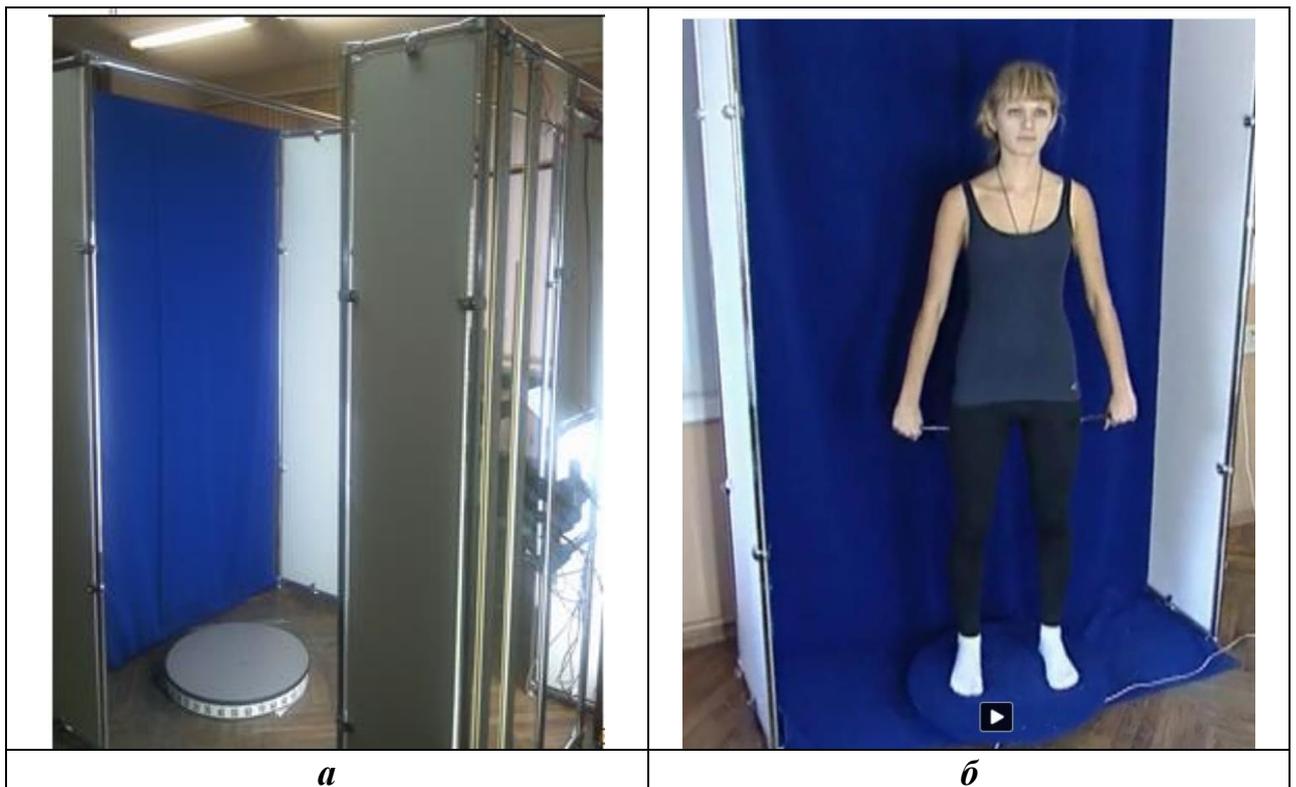
При проведении сканирования человек устанавливается на поворотную платформу в соответствии с обозначенным положением ступней. Получение информации происходит с помощью одного считывающего устройства при автоматическом повороте фигуры вокруг

собственной оси с шагом в 10° . Принципиальная схема измерительного комплекса приведена на рисунке 4.6.



Рисунок 4.6 - Схема расположения фигуры человека и считывающего устройства в мобильной системе 3D сканирования

Внешний вид малогабаритной мобильной системы 3D сканирования и положение измеряемого человека представлены на рисунке 4.7.



**Рисунок 4.7 - Мобильная система 3D сканирования:
а - внешний вид; б - положение измеряемого человека на платформе**

В процессе проведения экспериментальной апробации разработанного измерительного комплекса сформулированы основные требования к техническим мобильным системам *3D* сканирования: простота монтажа, возможность варьирования высоты установки камеры по вертикали, минимизация занимаемой площади, стабильность результатов измерений. Камера должна располагаться стационарно на уровне от 100 до 150 см от уровня пола (рис. 4.8).

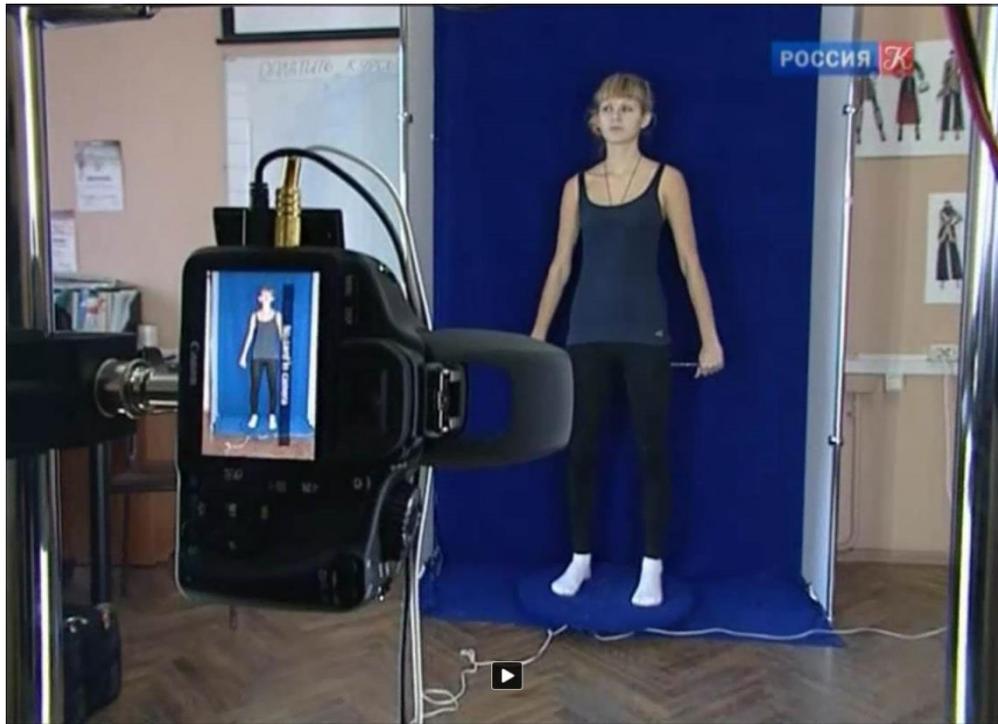


Рисунок 4.8 - Установка камеры относительно платформы

Исходя из перечисленных требований, разработаны чертежи измерительной кабины. Перечень комплектующих, чертежи внешнего вида измерительного комплекса с размерами, фотоизображения измерительной кабины, схема подключения и спецификация оборудования опытного образца мобильной системы *3D* сканирования представлены в *Приложении Г*.

В разработанных опытных образцах систем *3D* сканирования скорость получения информации составляет 1-3 сек., характерная точность измерений - 1/2000 от величины измеряемого объекта, рекомендуемый размер изучаемых объектов 0,1-2 м.

4.2. Разработка программного обеспечения технологии трехмерного сканирования в швейной промышленности

Для экспериментальных систем *3D* сканирования автором разработано программное обеспечение, позволяющее использовать оборудование в качестве измерительного комплекса [523]. При создании программного обеспечения для функционирования системы *3D* сканирования во главу угла поставлены следующие критерии:

- ✓ скорость работы расчётной части;
- ✓ кроссплатформенность, то есть переносимость между различными аппаратными платформами и операционными системами;
- ✓ удобство доработки и поддержки, для чего код программы сформирован на основе модульного подхода.

Программное обеспечение разработанных систем *3D* сканирования включает следующие модули:

- 1) модуль задания эталонной информации и получения фактических данных о матрицах и измеряемом объекте с помощью считывающих устройств;
- 2) модуль работы с матрицами и обработки изображений;
- 3) модуль распознавания контуров объекта и построения *2D* векторной модели;
- 4) модуль распознавания контуров фигуры и построения *3D* модели;
- 5) модуль расчета пути между точками *3D* модели;
- 6) пользовательский интерфейс в виде отдельной программы на языке *TCL*.

Модуль работы с матрицами представляет собой интерфейс с четырьмя функциями: прочитать изображение, записать изображение, загрузить матрицу, сопоставить точки изображения загруженной матрице. Информация реализуется в виде библиотеки, так как результатом работы является достаточно сложная структура: двумерный массив структур, содержащих реальные координаты точек и количественные характеристики

их цвета. В качестве языка реализации выбран *C*, так как интерфейс к этому языку стандартизован и поддерживается практически всеми языками программирования. Для работы с файлами изображения используется свободная библиотека *GraphicsMagick*, предоставляющая стандартный интерфейс чтения и записи данных в распространённые форматы изображений (*JPG*, *PNG*, *TIFF* и т.п.).

Модули построения 2D и 3D моделей измеряемого объекта также реализованы на языке *C*, исходя из максимизации скорости работы и переносимости между различными платформами. Они являются отдельными законченными программами, в качестве входных данных получают изображения, а на выходе выдают файл с координатами точек модели объекта.

Для *визуализации результата работы* использована свободная библиотека *VTK*, которая имеет интерфейс для языков *C++* и *TCL*, чтобы выполнять типовые стандартные операции над *3D* изображениями, реализует элемент графического интерфейса, чтобы пользователь мог манипулировать *3D* объектом. Данная библиотека является одной из лучших в своём классе, кроме того она работает под любой *UNIX*-подобной или *Windows* системой.

Интерфейс пользователя реализован на *TCL*, скриптовом языке высокого уровня. Так как *TCL* является интерпретируемым языком, а не компилируемым, то он позволяет легко использовать исходный код на любой операционной системе, где может быть установлен интерпретатор данного языка. Кроме того, для операционных систем *Windows* и *Linux* есть интерпретатор данного языка программирования с интегрированной библиотекой *VTK*. С точки зрения пользователя *TCL* очень гибок, что позволяет пользователю без программирования поменять шрифт, цвет, размер экранных элементов и автоматически масштабировать интерфейс под размер окна.

Для *модуля расчета пути по поверхности 3D модели* использовался модифицированный алгоритм Беллмана-Форда, в котором связанными

считаются точки, находящиеся достаточно близко друг от друга. Для реализации использовался язык C++ и библиотека VTK, так как в ней существуют стандартные средства получения множества точек на расстоянии от точки, не более заданного.

Информационное обеспечение технологии 3D сканирования.

Из информационных потоков системы 3D сканирования выделено шесть основных объектов: пользователь, система считывающих устройств, программные модули построения 3D модели или дигитайзера, интерфейса пользователя и определения пути по поверхности 3D модели. Организация информационных потоков между подсистемами отражена на рисунке 4.9.

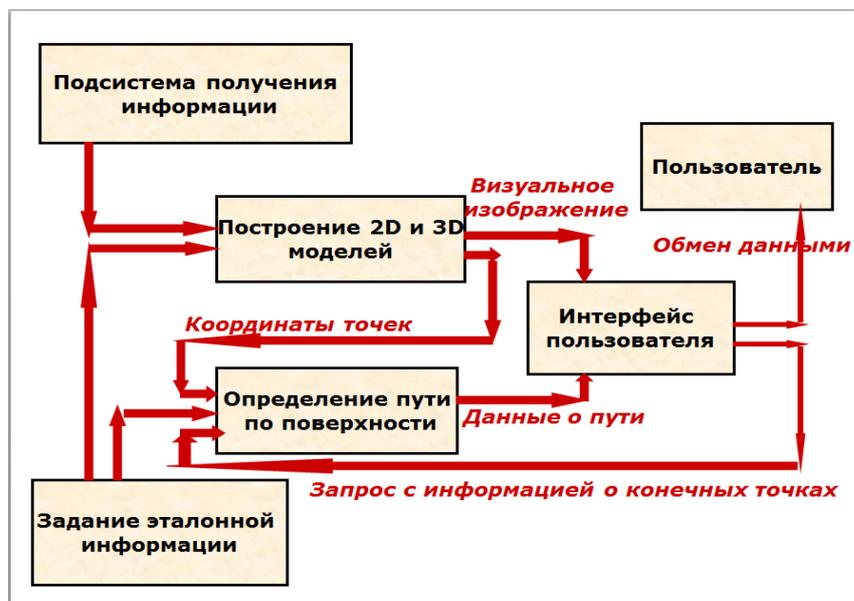


Рисунок 4.9 – Модель информационных потоков системы 3D сканирования

Данные, полученные со считывающих устройств, загружаются подпрограммой построения моделей в графическом формате при запросе пользователя через подпрограмму интерфейса. Затем в автоматическом режиме осуществляется распознавание контуров объекта и визуализация 2D или 3D модели объекта с помощью подпрограммы построения моделей. После визуализации информация о 2D или 3D модели объекта передается на интерфейс пользователя, параллельно данные о модели передаются на подпрограмму определения пути по поверхности. При запросе пользователя об определении размерных признаков между какими-либо точками через

интерфейс передаются только выбранные конечные координаты, и рассчитывается значение размерного признака.

При запросе пользователем от системы сканирования выполнения функций дигитайзера, то есть создания $2D$ модели объекта, на вход системы сканирования подаётся одно изображение, по которому строится контур объекта и вычисляется площадь внутри него, а затем эти данные передаются на интерфейс пользователя.

Таким образом, подпрограммы, написанные на различных языках программирования, могут работать прозрачно для конечного пользователя и обмениваться информацией через файловые хранилища данных по входным параметрам при вызовах. Кроме того, предложенное построение информационных потоков позволяет заменять любую из трех подпрограмм без изменения остальных взаимодействующих частей, руководствуясь только сохранением типов исходящих и входящих потоков данных.

Блок распознавания эталонной и материальной матриц.

В процессе проведения экспериментальных исследований в п. 3.3 диссертации были рассмотрены виртуальные измерительные инструменты (*ВИИ*) с метками матриц различных видов, в том числе с геометрическими метками контрастных цветов. На первой стадии создается структура «*points*», содержащая координаты метки и её цвет, для этого по эталонной матрице определяются координаты x , y для каждого пикселя изображения материальной матрицы, то есть формируется *ВИИ*. Под цветом понимаются не компоненты реального цвета (*RGB*), а некоторые характеристики метки: цвет фона и точка границы.

Таким образом, центральной частью программы является алгоритм распознавания меток материальной матрицы и построения *ВИИ*. На входе алгоритма изображение меток материальной матрицы (поле *color* = 1 для метки одного цвета и поле *color* = 0 для метки другого цвета), на выходе - координаты, измеренные в единицах эталонной матрицы. Начинать формировать *ВИИ* необходимо из центра, так как на краях изображения

метки материальной матрицы могут быть менее корректными и возможен небольшой перекос изображения. Для перемещения в центр сначала определяется пересечение диагоналей изображения материальной матрицы, затем в окрестности определенного центра осуществляется поиск точки, принадлежащей черной метке (рис. 4.10, а). *ВИИ* строится от центральной точки, сначала двигаясь влево через каждую метку, затем двигаясь вверх и потом вниз (рис. 4.10, б). Аналогично осуществляется движение вправо (рис. 4.10, в).

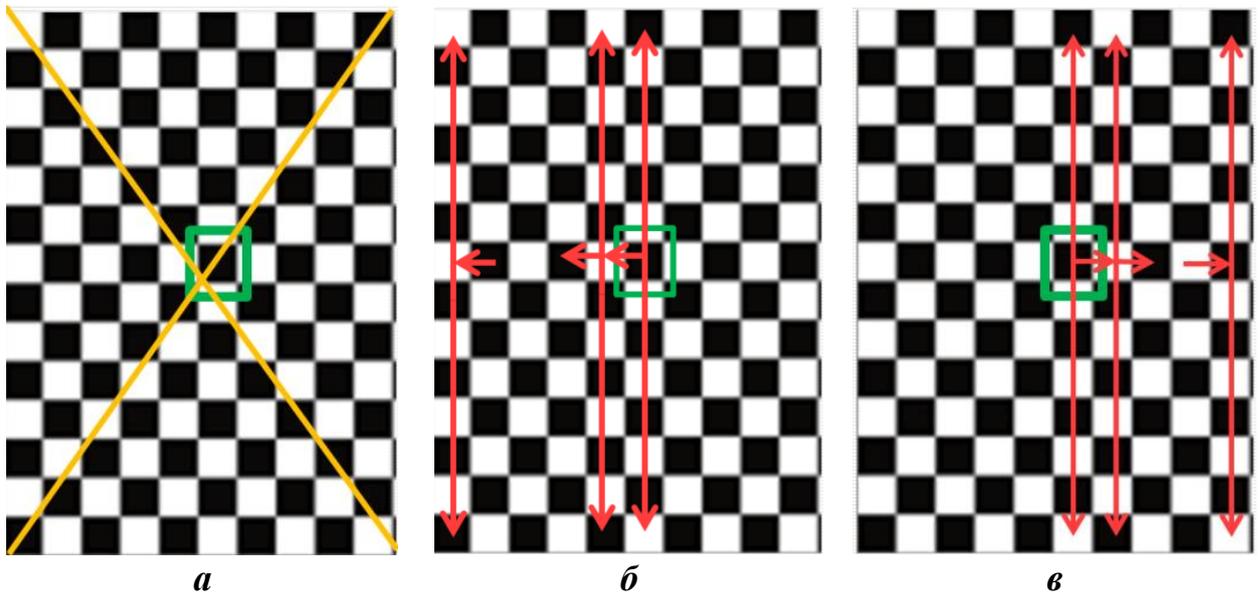


Рисунок 4.10 - Схема распознавания меток на изображении материальной матрицы для построения *ВИИ*: а - определение центра; б - левая сторона; в - правая сторона

Последовательность действий программы для определения положения меток материальной матрицы и присвоения им эталонных координат отражена на рисунке 4.11. Рассматриваемая последовательность действий приведена для перемещения вниз; перемещения вверх, влево и вправо осуществляются аналогично.

В процессе идентификации меток осуществляется выравнивание сторон меток матрицы, чтобы они были прямоугольными в соответствии с данными эталонной матрицы. Выравнивание осуществляется вычислением правильных краев меток, их идентификацией и присвоением соответствующим точкам в массиве *points* цвета метки.

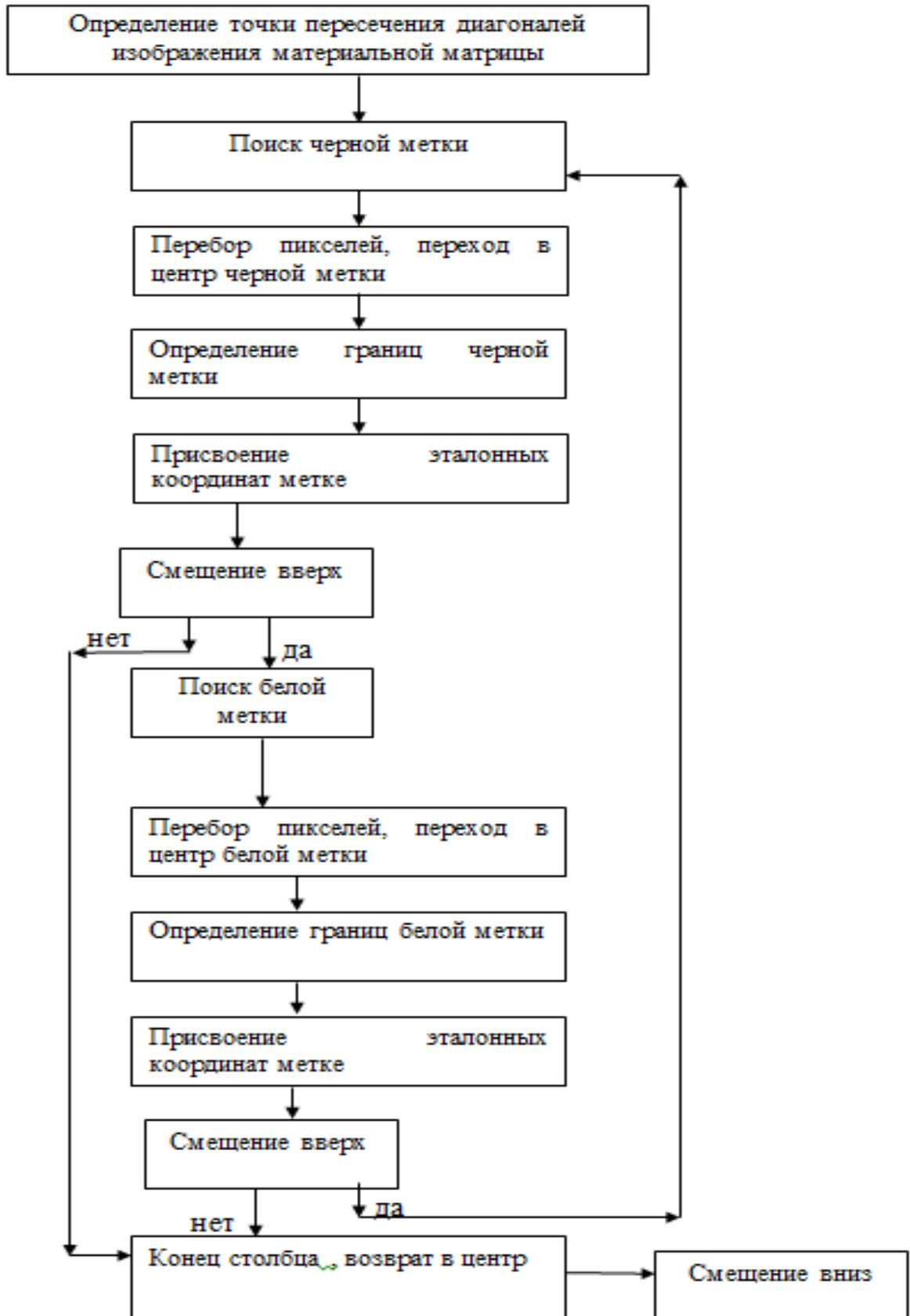


Рисунок 4.11 - Последовательность действий для определения меток материальной матрицы

Для выравнивания меток матрицы используются следующие функции:

❖ функция *sq*, которая возвращает разность количества точек заданного цвета и количества точек другого цвета внутри заданного прямоугольника.

Параметры функции *sq*:

- *points* - двумерный массив точек;
- *l*, *r*, *u* и *d* - левая, правая, верхняя и нижняя границы исследуемого прямоугольника;
- *cur_color* - заданный цвет распознаваемой в данный момент метки.

❖ функция *fill_xy*, которая позиционирует текущие координаты на центре метки, определяет ее ширину и высоту, заполняет по найденным размерам цвет цветом центра метки, а координаты - вычисленными по эталонному номеру метки и отклонению от центра координатами. Для указания координат точек используются переменные *tway* - для координат в единицах эталонной матрицы, *way* - для координат в пикселях. Параметры функции *fill_xy*:

- *points* - двумерный массив точек;
- *way_x*, *way_y* - координаты точки, принадлежащей текущей метке в пикселях, по окончании функции в них возвращаются координаты центра метки;
- *tway_x*, *tway_y* - координаты метки в единицах эталонной матрицы;
- *cols* - ширина материальной матрицы в пикселях;
- *rows* - высота материальной матрицы в пикселях.

Для вычисления координаты точки по номеру метки считается, что метка имеет размер *SIDE*, а координата внутри метки изменяется линейно. В таком случае применима формула (4.1), где *i* - номер пикселя, *x* - координата, *k* и *b* - параметры линейной функции. Следовательно, координаты пикселей для левой и правой границ рассматриваемой метки можно определить по формуле (4.2), где *l* и *r* - номера пикселей для левой и

правой границ метки. Получаем систему уравнений (4.3), решая которую определяем параметры линейных функций (4.4):

$$x(i) = ki + b \quad (4.1)$$

$$x(l) = SIDE(tway_x - 1/2) \quad (4.2)$$

$$x(r) = SIDE(tway_x + 1/2)$$

$$kl + b = SIDE(tway_x - 1/2) \quad (4.3)$$

$$kr + b = SIDE(tway_x + 1/2)$$

$$k = \frac{SIDE}{r - l} \quad (4.4)$$

$$b = SIDE \left(tway_x - \frac{r + l}{2(r - l)} \right)$$

Аналогично осуществляется поиск всех пикселей, принадлежащих метке, проверяя поочерёдно все варианты изменения метки на ± 1 пиксель в ширину или высоту.

Предложенный алгоритм является модифицированной разновидностью «жадного алгоритма» [73] и используется для распознавания, подсчёта, идентификации пикселей, окружающих центр каждой метки материальной матрицы, для точного определения формы и размеров меток.

Следующая задача разработки программного обеспечения системы 3D сканирования может быть сформулирована таким образом: найти метку, с максимальным результатом функции распознавания цвета пикселя и погрешностью не выше 5%, считая, что начальная точка находится приблизительно в центре метки, а сама метка приблизительно прямоугольная. Термин «приблизительно» в данном контексте подразумевает отклонение не более чем на 5% размера метки. В этом случае, на 90% размера метки, где отклонений нет, данный алгоритм отработает гарантированно корректно, так как увеличение функции sq на рассматриваемом участке, на каждом шаге увеличивает общее количество пикселей на количество добавленных пикселей, что противоречит исходным

условиям работы алгоритма. Так же, определённо, не будет захвачена ни одна линия, где количество пикселей чужого цвета превысит количество пикселей своего, а значит, в область соседних меток алгоритм зайти не позволит. Следовательно, если и существует оптимальное решение, отличающееся от найденного, то оно находится в зоне, где метка не совпадает с прямоугольной, но по условию эта область не превышает 5% от размера метки, значит «жадный алгоритм» применим. При использовании материальной матрицы с размером метки в 1 мм, это отклонение составит 0,05 мм, а при использовании материальной матрицы с размером метки в 10 мм это отклонение составит 0,5 мм.

В процессе экспериментальных исследований выявлено, что при распознавании меток из геометрических элементов белого и черного цвета, рассмотренных автором в п. 3.3, не обеспечивается четкое и точное определение координат эталонной матрицы. Так как наличие или отсутствие метки определяется по яркости изображения в конкретной точке, то к качеству фотографий предъявляются достаточно строгие требования. Яркость цвета меток должна быть достаточно равномерной по всему изображению, иначе может оказаться, что ярко освещённая чёрная метка окажется светлее, чем белая метка, находящаяся в тени.

Для точного и быстрого распознавания границ меток в изображении эталонной матрицы нужно осуществить подбор оптимального сочетания цветов геометрических меток. Для этого в процессе исследований: 1) разработан нелокальный алгоритм, позволяющий в каждый момент времени при построении *ВИИ* учитывать освещённость того участка изображения, на котором находится исследуемая точка; 2) принято решение отказаться от использования критерия яркости точки для определения координат метки, чтобы избежать неоправданного падения скорости обработки информации.

Проведенные экспериментальные исследования (гл. 3) позволили усовершенствовать алгоритм распознавания меток материальной матрицы благодаря использованию геометрических элементов контрастных цветов, и

прежде всего соотношения яркости синего и красного цвета в текущей точке.

Использование контрастных цветов меток обеспечивает следующие преимущества:

- высокую точность распознавания меток матриц даже при сильных перепадах освещения, в том числе рядом с точечным источником света, что дает возможность снизить стоимость оборудования за счет экономии на дорогостоящих осветительных приборах;
- высокую скорость обработки информации благодаря отсутствию операции умножения при формировании *ВИИ*.

Блок распознавания силуэта объекта (проекции объекта).

Алгоритм распознавания силуэта объекта работает по принципу приведения силуэта объекта к чёрно-белому виду, где «чёрный» означает, что в данной точке объект присутствует, а «белый» - отсутствует. Для распознавания объекта используется яркость или цвет точки. В результате экспериментальных исследований доказано, что предпочтителен выбор цвета, так как в условиях неидеального освещения из-за неровностей объекта на нём образуются блики, а на фоне - тени. Считывающее устройство (фотоаппарат) делит цвет на компоненты: красный, зеленый и синий. Для распознавания объекта больше подходит синий компонент цвета, так как он обычно не встречается в цвете кожи и волос, при этом исключено использование синей одежды на исследуемом объекте при проведении процедуры сканирования, что можно считать разумным ограничением.

Точка считается достаточно синей, то есть фоновой, если сумма красного и зеленого компонентов цвета меньше, чем его синий компонент. Также следует проверить степень темноты точек, чтобы черные точки не были засчитаны как синие из-за случайных бликов. Предложенное решение позволяет минимизировать влияние на результат измерений перепадов освещённости объекта.

Для точного автоматического распознавания объекта исходим из предположения, что в центре изображения всегда присутствует объект. Изображение объекта в результате распознавания представляется не в виде контура, а в виде множества точек, принадлежащих проекции. Условием автоматического распознавания является получение проекции для центрального «пятна» на изображении. Для реализации этой функции использовался алгоритм цепного кода Фримена (*Freeman H.*, 1990) [327], включающий следующие этапы:

- 1) Поиск начальной точки в центре изображения как пересечения диагоналей изображения.
- 2) Поиск границы объекта вверху путем движения из центра изображения вверх до границы объекта, а именно до точки, рядом с которой есть точки, не принадлежащие объекту, что обеспечивает получение контура центрального пятна при наличии нескольких пятен на изображении.
- 3) Проверка всех примыкающих пикселей по направлению, начиная с направления 0 (вверх), до того как встретится пиксель, принадлежащий границе изображения. Поворот от исходной точки осуществляется по возрастанию номеров векторов, то есть по часовой стрелке.
- 4) Направление последнего вектора отмечается как текущее, а его конец считается текущим пикселем.
- 5) Повторение сканирования примыкающих пикселей до обнаружения очередного пикселя границы, начиная от пикселя, расположенного слева от текущего вектора по часовой стрелке.
- б) Повторение алгоритма с п. 3 до совпадения положения текущего пикселя с начальным.

Визуальное отражение реализации предлагаемого алгоритма представлено на рисунке 4.12.

Таким образом, предложен механизм автоматического виртуального распознавания $2D$ модели исследуемого объекта.

Построение 3D модели исследуемого объекта.

Форма поверхности фигуры разных людей существенно отличается, поэтому строго утверждать можно только то, что эта форма является односвязной (из любой точки на поверхности фигуры человека в любую другую можно провести кривую, находящуюся внутри человека) и не имеет внутренних полостей. Этого утверждения достаточно для формирования однозначного алгоритма построения трехмерной формы по проекциям, так как формально фигура человека может быть представлена пересечением прямых цилиндров, направляющие которых являются контурами проекций.

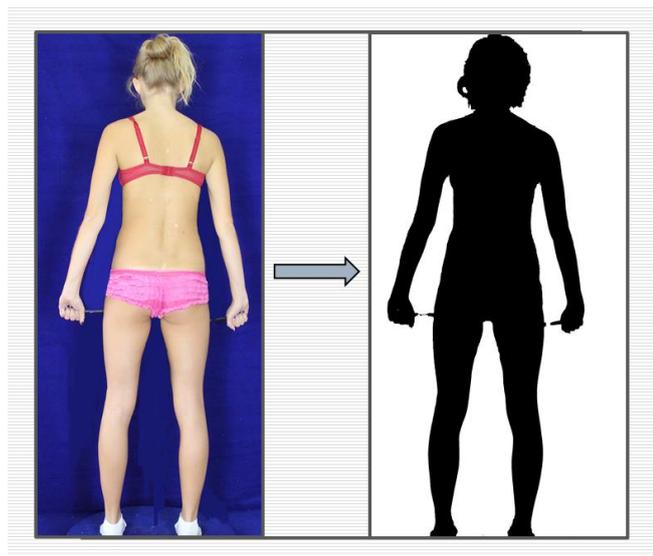


Рисунок 4.12 - Распознанный силуэт фигуры человека

Обработанный и распознанный силуэт фигуры (проекция) представляется не в виде контура, а в виде множества точек, принадлежащих проекции. Поэтому описание фигуры человека в процессе построения также естественно делать в виде множества точек, принадлежащих фигуре человека, при этом точка проекции называется пикселем, а точка объемной фигуры - вокселем.

Для дальнейшего описания фигуры человека зададим оси декартовой системы координат так, что ось X расположена в направлении голова-ноги, ось Y - в направлении от левого плеча к правому, а ось Z в направлении грудь-спина (см. рис. 3.27). Принято допущение, что пересечение прямой параллельной оси Z и фигуры человека всегда является отрезком либо

пустым множеством, то есть предполагается, что в этом направлении фигура не имеет разрывов, что налагает ограничения на позу человека (рука не должна располагаться перед туловищем или одна нога перед другой), это позволяет описать фигуру человека расстояниями до ближнего или дальнего края фигуры вдоль проекционного луча для каждого пикселя фронтальной проекции, то есть в виде массива структур.

Для уменьшения вычислительной сложности алгоритма в разработанной программе предполагается, что для любой фигуры пресечение её поверхности с прямой, проходящей в направлении взгляда, всегда является отрезком. Первоначально рассматривается изображение анфас, по которому строится множество точек этой проекции, когда длины таких отрезков считаются бесконечными. Затем рассматривается изображение в профиль, по которому все отрезки считаются ограниченными. Затем остальными проекциями последовательно отсекается излишние части изображения, оставляя пересечение модели после предыдущей итерации и цилиндра, построенного на проекции. Таким образом, предлагаемый алгоритм предусматривает обрезание проекции не одной прямой, а двумя, являющимися границами щели. Фактически на каждом шаге-щели решается точная задача: построить объект, пересекающийся с данным объектом, имеющий сквозной промежуток под заданным углом и наибольший объём из возможных решений. Данный подход обеспечивает математически точное решение с наименьшими потерями объёма фигуры на основе принципа единой обработки информации с любого края сечения.

Для повышения универсальности системы и обеспечения возможности использования различного количества считывающих устройств предлагаемый алгоритм модифицирован с учётом возможности обработки произвольного количества изображений и произвольного максимального размера этих изображений. Основной программный комплекс состоит из трех подпрограмм: отображения интерфейса, построения 3D модели и расчета пути между заданными точками по поверхности.

Подпрограмма построения *3D* модели базируется на массиве графических изображений, поэтому в параметрах командной строки получает имя каталога для обработки, поля изображения и количество изображений. Затем читает изображение материальной матрицы, анализирует его, читает изображения проекций объекта, строит объект, сохраняет описание объекта в файле. Блок-схема подпрограммы построения *3D* модели изучаемого объекта приведена на рисунке 4.13.

Для данной подпрограммы определены следующие входные данные: *K* – соотношение ширины и высоты эталонной матрицы (для случаев, когда эталонная матрица не квадратная, определяется автоматически), *RED*, *GREEN*, *BLUE* – определение уровня, после которого считать точку черной, *DIR* – определение каталога, в котором находятся изображения материальной матрицы и объекта, на основании которых будет строиться *3D* модель. При работе алгоритма используется двумерный массив *points*, структуры *x*, *y* - вещественные числа, характеризующие значения координат в координатах эталонной матрицы с учетом дробных значений и *color* – цвет пикселя.

Значения *points* определяются для каждого пикселя на изображении, поэтому значение *points [i] [j]* определяет: какой метке принадлежит пиксель с координатами (*i*, *j*) и какого цвета данный пиксель. Для заполнения массива *points* используется процедура *ScanCells*, которая начинает заполнять массив *points[i][j]* от центральной точки и заполняет значения *x*,*y* для каждой точки из *points*. Далее по проекциям строится *3D* изображение в виде двумерного массива, каждый элемент которого содержит координаты ближней и дальней точки к наблюдателю при взгляде анфас. Результат записывается в файл *pic.3d* в формате «одна строка – одна точка, три текстовых представления координат на строку».

При нахождении контура графического изображения используются аналогичные команды. Все координаты переводятся в координаты эталонной матрицы с учетом дробных значений. Далее находится замкнутый контур и классическим алгоритмом заполнения замкнутой области вычисляется общая площадь объекта. Найденный контур сохраняется в файле *pic.2d*, аналогичном по формату файлу *pic.3d*. Информация о вычисленной площади представляется для печати через стандартный вывод.

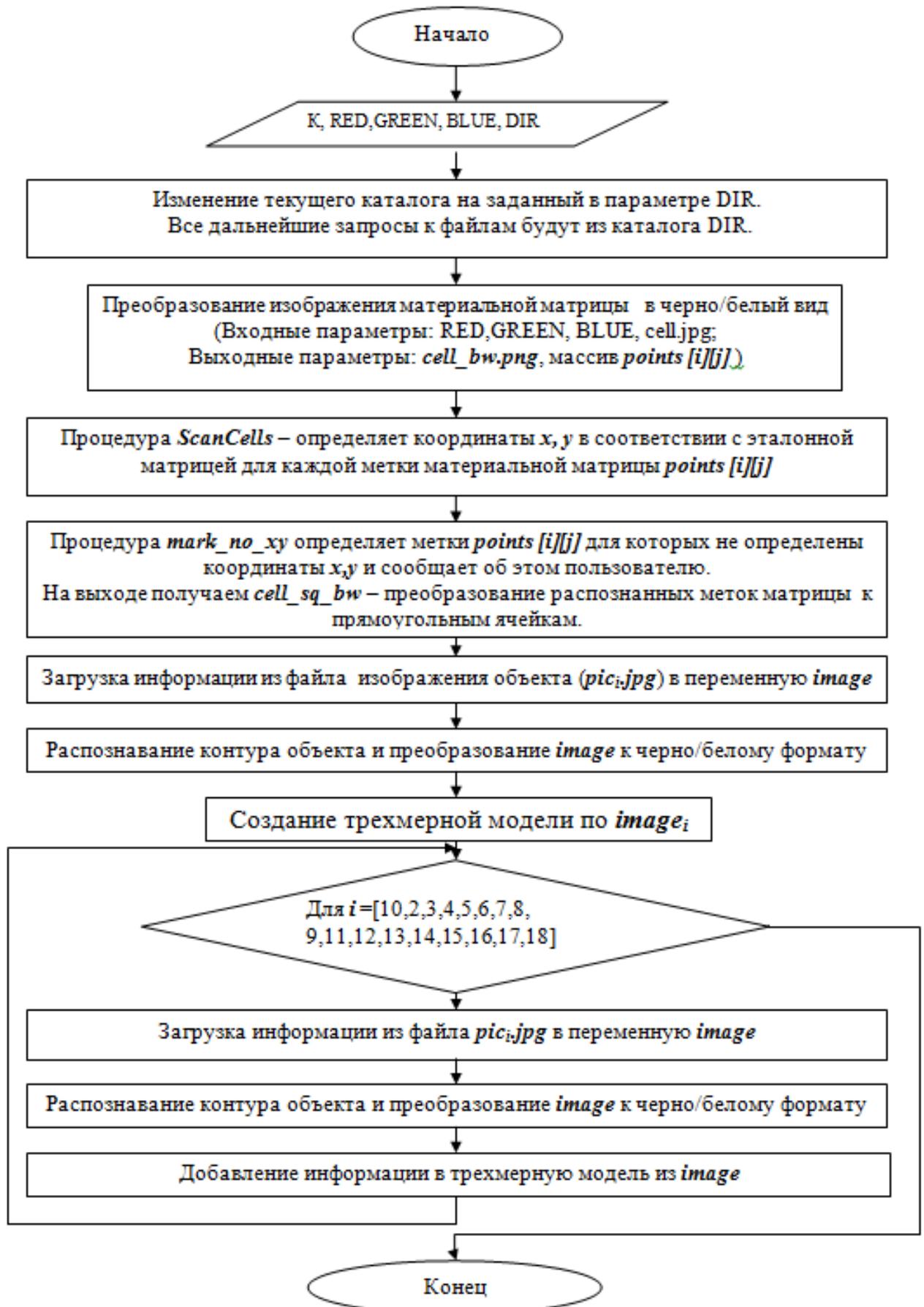


Рисунок 4.13 - Блок-схема подпрограммы построения 3D модели объекта

Так как многие процедуры и функции для подпрограмм построения 3D модели, вычисления расстояния по ее поверхности, построения контура по графическому изображению и нахождения его площади одинаковы, то они выделены в отдельный файл-библиотеку, который используется обоими программными комплексами.

Нахождение пути между точками для определения размерных признаков реализовано по алгоритму Беллмана-Форда. Посредством пользовательского интерфейса реализована возможность сохранять полученную 3D модель в распространённые форматы *IV*, *PLY*, *CGM*, *XYZ*, а результат работы дигитайзера - в виде полилинии *AutoCad* или в формате *SVG*.

Пример реализации алгоритма построения 3D модели объекта.

На первом этапе происходит получение информации об объекте и материальной матрице. При необходимости оператор указывает границы расчетной области на изображении объекта, таким образом, чтобы объект попал в выделяемые границы целиком, или той частью, которую требуется отсканировать, и запускает обработку (рис. 4.14).

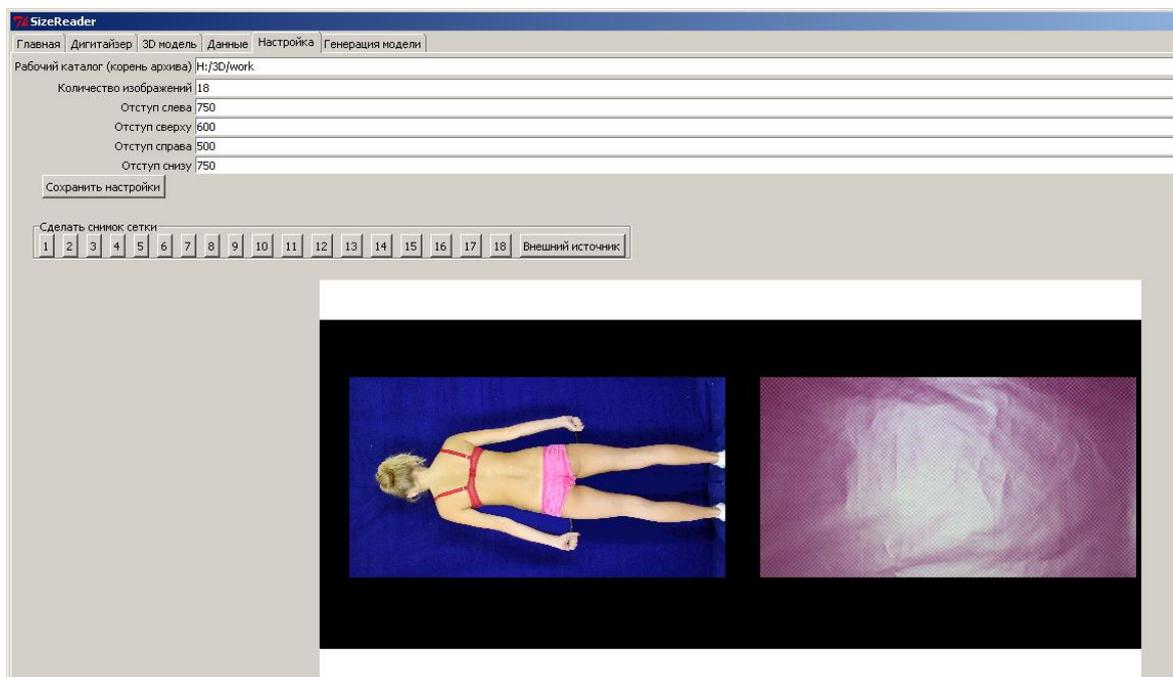


Рисунок 4.14 - Границы расчётной области на изображении объекта и материальной матрицы

Затем происходит формирование *ВИИ*: обработка изображения материальной матрицы, распознавание и идентификация каждой метки с метками эталонной матрицы. Компьютер получает со считывающего устройства (в рассматриваемом примере с цифрового фотоаппарата) изображение матрицы (рис. 4.15, а).

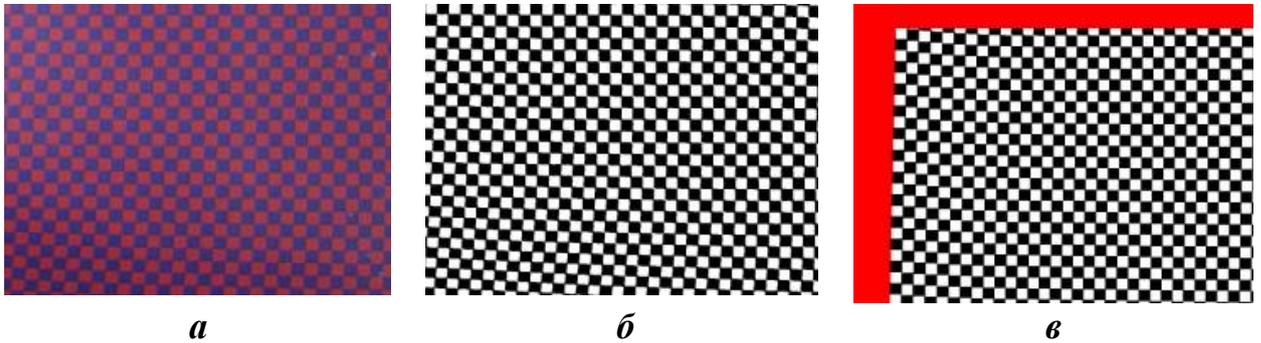
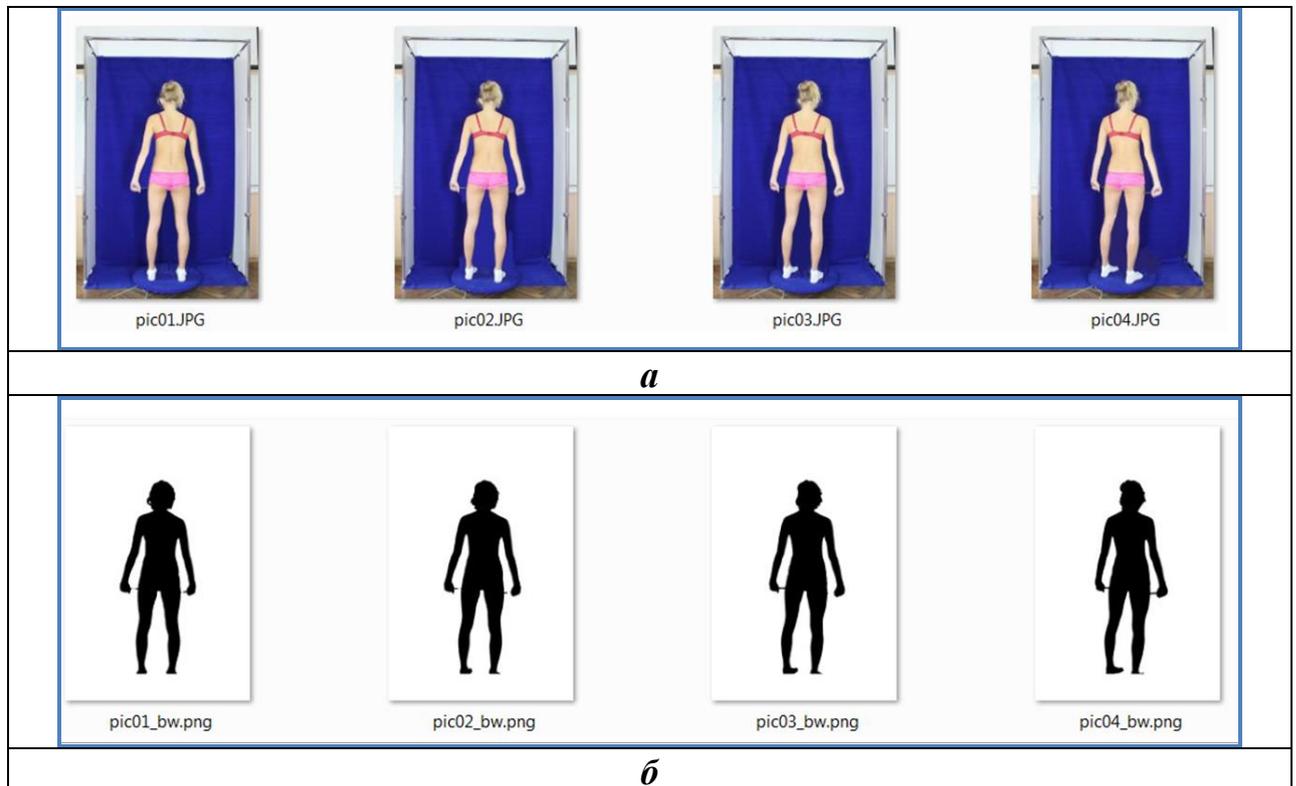


Рисунок 4.15 - Материальная матрица: а - изображение; б - приведение к черно-белому виду; в - приведение к эталонному виду

В процессе обработки производится выделение меток материальной матрицы и приведения их к чёрно-белому виду (рис. 4.15, б). Несмотря на неровность листа, на котором напечатана материальная матрица, наличие теней и бликов, распознавание даёт очень чёткий однородный результат.

Затем осуществляется выравнивание распознанных меток по эталонной матрице и присвоение эталонных координат согласно ранее приведенному алгоритму (рис. 4.15, в). Красным цветом отображена зона, где не должен находиться измеряемый объект из-за краевых искажений материальной матрицы. При любом увеличении распознанной материальной матрицы можно увидеть, что метки на этой стадии представляют собой идеальные прямоугольники. При сканировании объекта на компьютере со считывающих устройств получается *n-ое* количество изображений объекта, в том числе первое изображение спереди (или сзади) и каждое следующее с шагом в $10^\circ, \dots, 15^\circ$. Сканирование производится на однотонном синем фоне. Фрагмент базы данных изображений фигуры, необходимых для построения 3D модели представлен на рисунке 4.16, а. Согласно предложенному алгоритму осуществляется обработка изображения для выделения участков поверхности фигуры человека, сравнивается яркость синего компонента

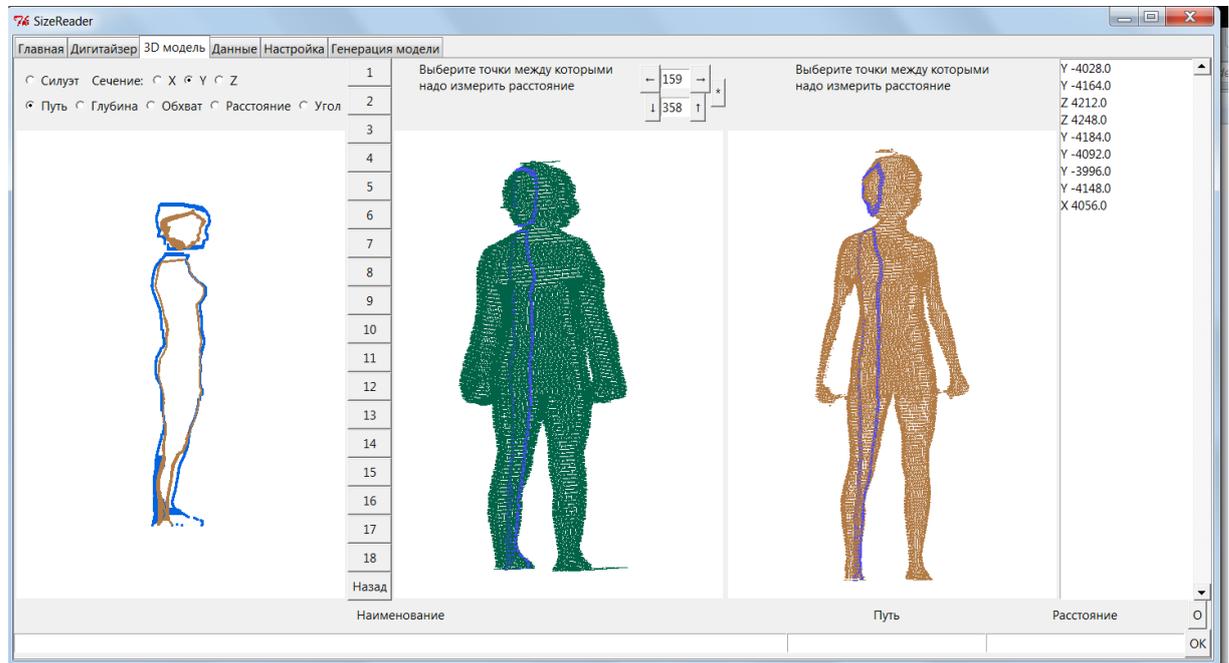
цвета с остальными: если точка более синяя, то она считается фоном, если менее, то - принадлежит человеку. В результате программной обработки изображения получается распознанная проекция изучаемого объекта (рис. 4.16, б), и по набору распознанных проекций строится 3D модель фигуры человека.



**Рисунок 4.16 - Фрагмент базы данных изображений фигуры:
а – изображения со считывающих устройств;
б – результат распознавания в подпрограмме**

Первоначально обрабатывается только одно изображение, поэтому фигура человека представляется как цилиндр с направляющей, совпадающей с контуром проекции. Затем обрабатывается изображение, считанное под углом в 90° к первоначальному, образуя модель на основании двух проекций фигуры человека (рис 4.17, б). Далее происходит обработка изображений объекта, считанных со всех остальных углов от первоначального изображения, поэтому при просмотре с любых направлений получаемая 3D модель фигуры человека достоверно повторяет форму поверхности отсканированного объекта (рис. 4.17, в).

Таким образом, благодаря разработанному информационному, методическому, математическому, аппаратному и программному обеспечению технологии 3D сканирования можно осуществлять построение 3D виртуальных моделей фигуры и одежды, отличающихся высокой степенью соответствия внешней форме поверхности исследуемого объекта.



а **б** **в**
Рисунок 4.17 - 3D модель фигуры человека: а - совмещенные вертикальные сечения; б - 3D модель на основании двух проекций объекта; в - окончательная 3D модель фигуры

Структура интерфейса программного обеспечения технологии трехмерного сканирования.

На основании разработанного технического и информационного обеспечения определена последовательность диалоговых взаимодействий пользователя с программными средствами системы 3D сканирования. Разработано многоуровневое пользовательское меню, обеспечивающее удобный режим активизации функций системы. При запуске пользовательского интерфейса отображается главная форма программы системы 3D сканирования (рис. 4.18).

На вкладке «3D модель» можно видеть силуэт объекта и построенную 3D модель объекта (рис. 4.19). В нижней части окна располагается строка для сохранения данных о проведенных измерениях. Кнопкой «*» отображается

кнопка очистки проделанных измерений. Сгенерированную модель можно повернуть на любой угол и изменить масштаб для удобства проведения измерений.

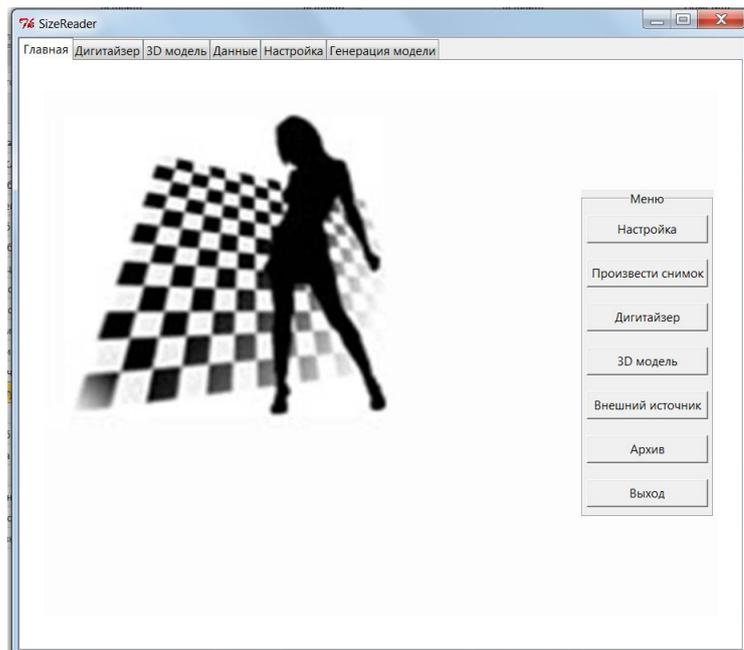


Рисунок 4.18 - Главная форма программы

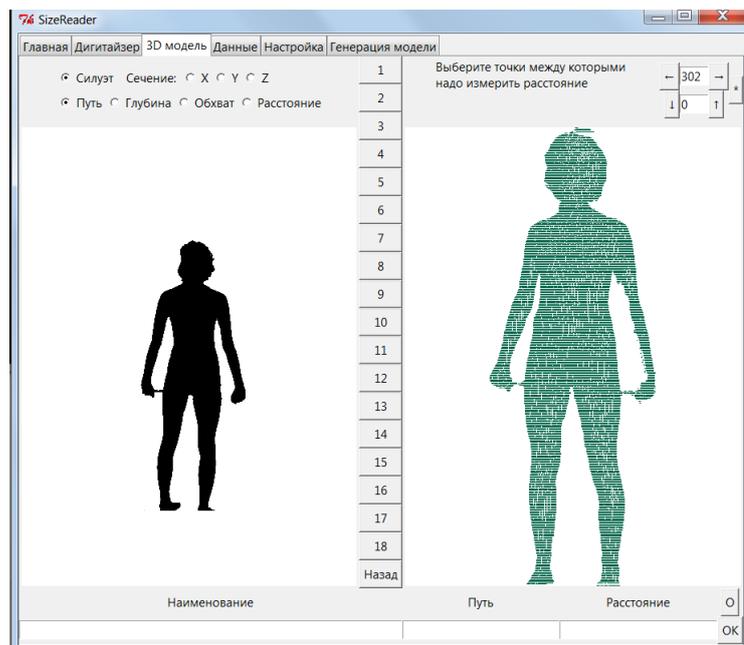


Рисунок 4.19 - Вкладка «3D модель»

В программном обеспечении реализована возможность вращения и масштабирования 3D модели с клавиатуры или при помощи мыши. Для удобства выбора антропометрических точек и для расширения количества измеряемых признаков существует возможность построить из произвольной точки объекта вертикальные или горизонтальные сечения и указать точки

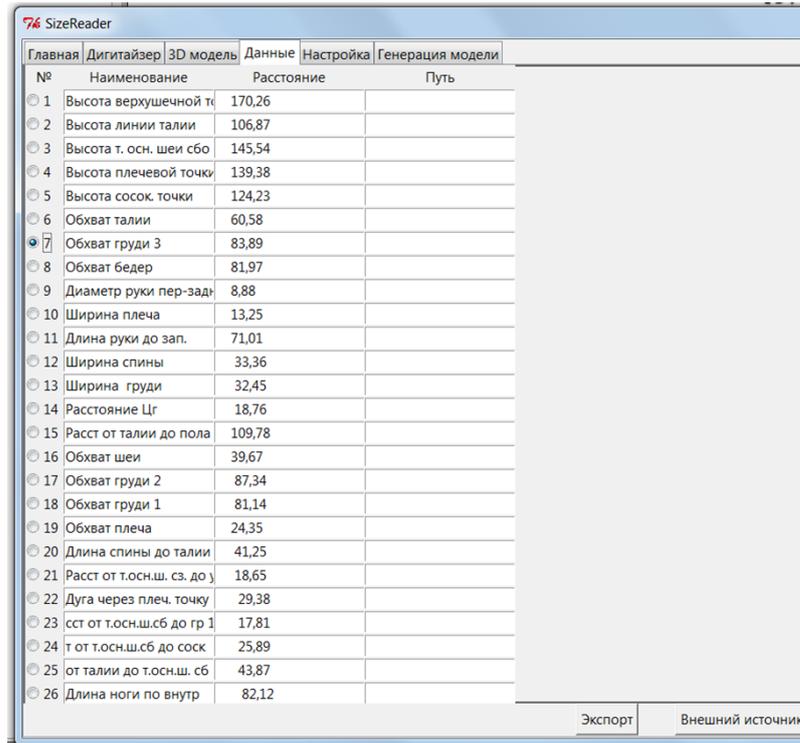
измерения на выбранном сечении (рис. 4.20). При задании любых двух точек на поверхности виртуальной 3D модели можно получить информацию о расстояниях между ними, отображаемом в мм над отображением 3D модели исследуемого объекта на экране монитора.



Рисунок 4.20 - Построение вертикальных или горизонтальных сечений из произвольной точки объекта

Программное обеспечение поддерживает построение сложного пути по поверхности между точками 3D модели, суммируя отдельные его участки между двумя соседними точками, лежащими на прямой, и выбирая следующую третью точку для продолжения вычислений. В строке сохранения данных фиксируется суммарное значение измерений. Информация автоматически заносится в таблицу «Данные» с помощью выбора предлагаемого или внесения произвольного наименования размерного признака в нижней части окна. Данные впоследствии возможно

просмотреть или отредактировать (рис. 4.21). Предлагаемый интерфейс программы интуитивно понятен пользователю.



№	Наименование	Расстояние	Путь
1	Высота верхушечной т	170,26	
2	Высота линии талии	106,87	
3	Высота т. осн. шеи с бо	145,54	
4	Высота плечевой точки	139,38	
5	Высота сосок. точки	124,23	
6	Обхват талии	60,58	
7	Обхват груди 3	83,89	
8	Обхват бедер	81,97	
9	Диаметр руки пер-зад	8,88	
10	Ширина плеча	13,25	
11	Длина руки до зап.	71,01	
12	Ширина спины	33,36	
13	Ширина груди	32,45	
14	Расстояние Цг	18,76	
15	Расст от талии до пола	109,78	
16	Обхват шеи	39,67	
17	Обхват груди 2	87,34	
18	Обхват груди 1	81,14	
19	Обхват плеча	24,35	
20	Длина спины до талии	41,25	
21	Расст от т.осн.ш. сз. до у	18,65	
22	Дуга через плеч. точку	29,38	
23	сст от т.осн.ш.сб до гр 1	17,81	
24	т от т.осн.ш.сб до соск	25,89	
25	от талии до т.осн.ш. сб	43,87	
26	Длина ноги по внутр	82,12	

Рисунок 4.21 - Сохраненные данные измерений поверхности объекта

Возможность применения системы 3D сканирования в качестве дигитайзера реализована при помощи отдельного окна интерфейса программы (рис. 4.22).

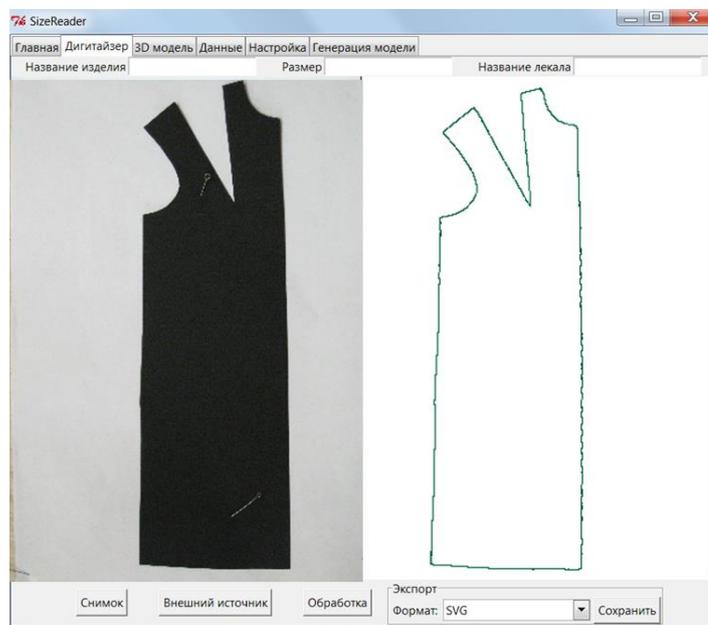


Рисунок 4.22 - Вкладка программы «Дигитайзер»

В левой области находится обрабатываемое графическое

изображение, которое может быть получено с устройства получения изображений при нажатии кнопки «Снимок», или из существующего файла на диске при нажатии кнопки «Внешний файл». При нажатии кнопки «Обработка» происходит построение контура графического изображения и подсчёт его площади (рис. 4.22). Полученный контур может быть сохранен во внешнем файле, при нажатии кнопки «Сохранить». Использование средней кнопки (колёсика) мышки позволяет масштабировать полученное изображение контура.

При проектировании системы *3D* сканирования рассмотрены различные варианты построения виртуальных *3D* моделей пространственных объектов и языков программирования для их реализации. Разработанное программное обеспечение позволяет построить *2D* модель исследуемого объекта по изображению или *3D* модель по серии изображений, а также определить кратчайшее расстояние по поверхности между любыми ее точками. Предложено информационно-техническое, структурно-логическое построение систем *3D* сканирования для решения широкого круга задач, связанных с изучением и виртуальным отображением поверхности объектов сложной формы, в том числе фигуры человека и одежды.

4.3. Разработка программы измерений размерных признаков по виртуальной трехмерной модели фигуры человека

Для проектировании одежды необходимы исходные данные о размерах и форме поверхности тела человека или *3D* модели фигуры, представленной на уровне физического подобия (см. п. 1.3). Исходная информация о фигуре человека, получаемая с помощью системы *3D* сканирования может включать в себя:

- координаты 3 млн. точек, описывающих трёхмерную форму поверхности фигуры человека;
- расположение и описание антропометрических точек;

- сечения фигуры в трансверсальной, фронтальной, горизонтальной плоскостях;
- сечения фигуры в любой плоскости, определяемой тремя точками;
- конфигурации любых вертикальных абрисов фигуры;
- дуговые размерные признаки;
- обхватные размерные признаки;
- проекционные размерные признаки;
- углы наклонов линий, образующих форму различных участков поверхности фигуры.

Для построения конструкции одежды используют основные, уточняющие и дополнительные размерные признаки.

Основные размерные признаки используются в методиках конструирования одежды для определения положения основных линий базисной сетки чертежа конструкции, к ним относятся: рост, обхваты шеи, груди (второй и третий), талии и бедер, ширина плечевого ската, высота груди, длина спины до линии талии, ширина спины и груди.

Уточняющие размерные признаки предназначены для учета особенностей телосложения фигур, к ним относятся: обхват груди первый, обхват плеча, длина переда до линии талии, высота проймы сзади, высота плеча косая, положение корпуса, глубина талии первая и вторая, передне-задний диаметр руки и др.

Дополнительные размерные признаки предназначены для построения конструкции одежды на фигуры с большими отклонениями от типового телосложения.

Различные методики конструирования одежды могут опираться на собственные наборы размерных характеристик, поэтому возможность получения широкого диапазона антропометрических параметров и изучение взаимосвязи размерных признаков фигуры и конструктивных параметров деталей одежды способствуют развитию современных методов трехмерного

автоматизированного проектирования одежды. Использование достоверных *3D* антропометрических моделей способствует проведению измерений параметров человеческих фигур по индивидуальным и типовым программам, виртуальных примерок, объективной оценки качества посадки проектируемых изделий.

В соответствии с существующими ГОСТами для проведения измерений антропометрических параметров необходимо предварительно задать перечень антропометрических точек для определения необходимого количества размерных признаков. Использование системы *3D* сканирования предоставляет конструктору возможность в интерактивном режиме задать новые антропометрические точки или провести измерения выбранных участков виртуальных моделей типовых или индивидуальных фигур, чтобы реализовать любую методику конструирования или выполнить специальные требования технического задания (ТЗ) на изделие. На рисунке 4.23 отражено положение стандартных и дополнительных антропометрических точек на *3D* модели фигуры человека, полученной *3D* сканированием.

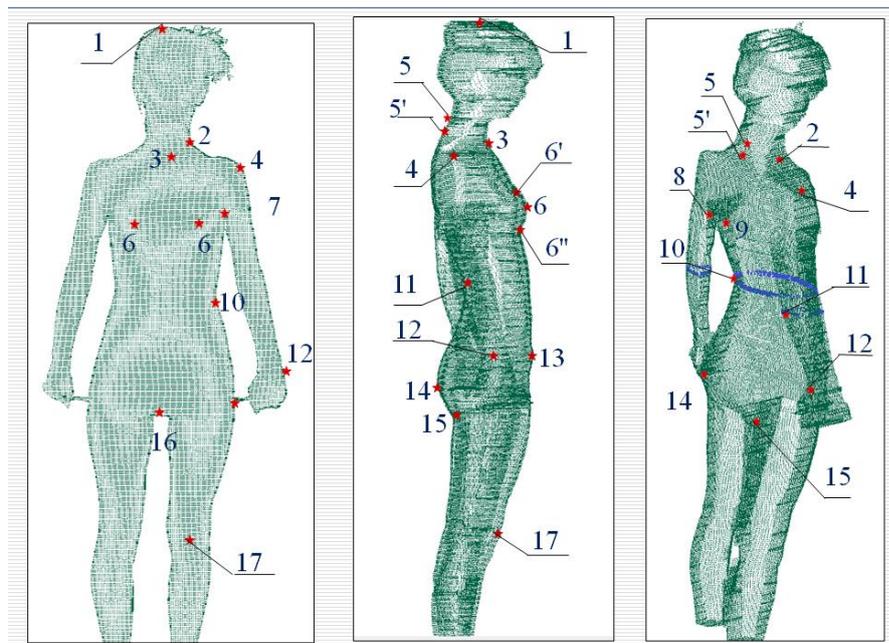


Рисунок 4.23 – Антропометрические точки

В таблице 4.1. приведены условные обозначения и названия антропометрических точек, наиболее часто используемых в методиках конструирования для одежды любого ассортимента. В функции систем *3D*

сканирования включена возможность осуществить выбор, указание и измерение любых, необходимых конструктору антропометрических характеристик. Для этого составляется программа измерений, так как существует необходимость проводить измерения через выделенные антропометрические точки нескольких размерных признаков, практически одновременно.

Таблица 4.1 – Перечень антропометрических точек и их условное обозначение

Название	Обозн.	Название	Обозн.	Название	Обозн.
Верхушечная (<i>vertex</i>)	1	Плечевая (<i>supradeltoideale</i>)	4	Остисто- подвздошная передняя точка (<i>ilisopinale</i>)	13
Шейная	5'	Лучевая (<i>radiale</i>)	11	Коленная (<i>patellare</i>)	17
Точка основания шеи сзади (<i>cervicale posterior</i>)	5	Шиловидно радиальная (<i>styliion radiale</i>)	12	Лопаточная (<i>posteroscapulare</i>)	9
Точка основания шеи сбоку (<i>cervicale laterale</i>)	2	Сосковая (<i>thelion</i>)	6	Передний угол подмышечной впадины (<i>axilare antrior</i>)	7
Точка основания шеи спереди (<i>cervicale anterior</i>)	3	Основание грудных желез сверху	6'	Задний угол подмышечной впадины (<i>axilare posterior</i>)	8
Точка на уровне талии (<i>zonale laterale</i>)	10	Точка под основанием грудных желез снизу	6''	Ягодичная (<i>gluteale</i>)	14

Так, например, при определении размерного признака **T18** (обхват талии), необходимо одновременно провести измерения размерных признаков под номерами **7, 18, 25, 26, 27, 40, 41, 43, 44, 94, 77, 36a**, так как от положения линии талии зависит точность определения перечисленных размерных признаков, что проиллюстрировано на рисунке 4.24, где **T43** и **T44** (выделенные красными линиями) измеряются параллельно позвоночнику от линии талии сзади до точки основания шеи сбоку, далее через сосковую точку вниз до линии талии одновременно с определением размерных признаков **T18** (обхват талии) и **T7** (высота линии талии).

Для интерактивного определения положения антропометрических точек и размерных признаков на поверхности 3D антропометрической модели разработана следующая последовательность действий:

- ✓ автоматический поворот 3D модели фигуры человека в положение спереди, сбоку, сзади или три четверти;
- ✓ поворот 3D модели фигуры в любое положение в интерактивном режиме;
- ✓ указание антропометрической точки, запрашиваемой системой в интерактивном режиме;
- ✓ дополнительное введение антропометрических точек в зависимости от требований конструктора;
- ✓ автоматическое определение размерных признаков, зависящих от указанных антропометрических точек.

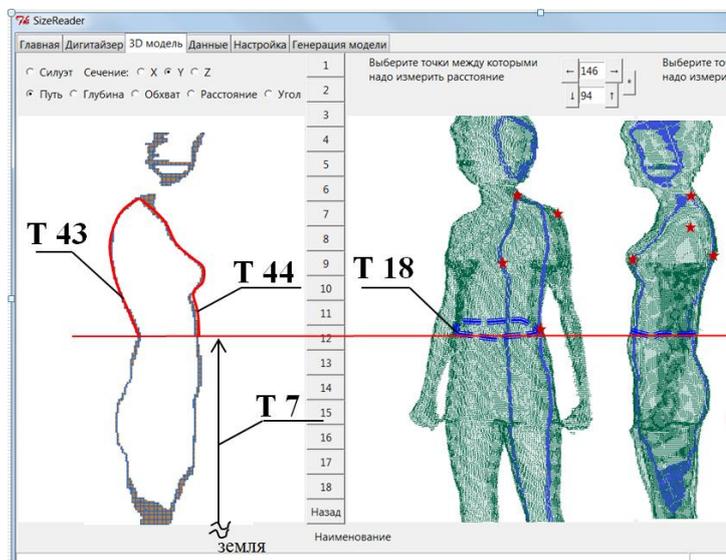


Рисунок 4.24 – Схема определения некоторых размерных признаков с учетом уровня линии талии

Предлагаемая последовательность действий способствует обеспечению точности получения информации о размерных характеристиках фигуры. На рисунке 4.25 представлен процесс определения размерных признаков на различных антропометрических уровнях (шеи, талии, бедер) путём выделения сечений, проходящих через выбранные

антропометрические точки, и последующего проведения измерений по координатам точек *3D* поверхности фигуры.

Для получения стабильных результатов антропометрических измерений с помощью системы *3D* сканирования разработана методика, ориентированная на принципы, изложенные в ГОСТах, и представляющая собой совокупность операций и правил, выполнение которых, обеспечивает получение результатов измерений с известной точностью или с погрешностью, не превышающей допустимых пределов [16, 23, 17].

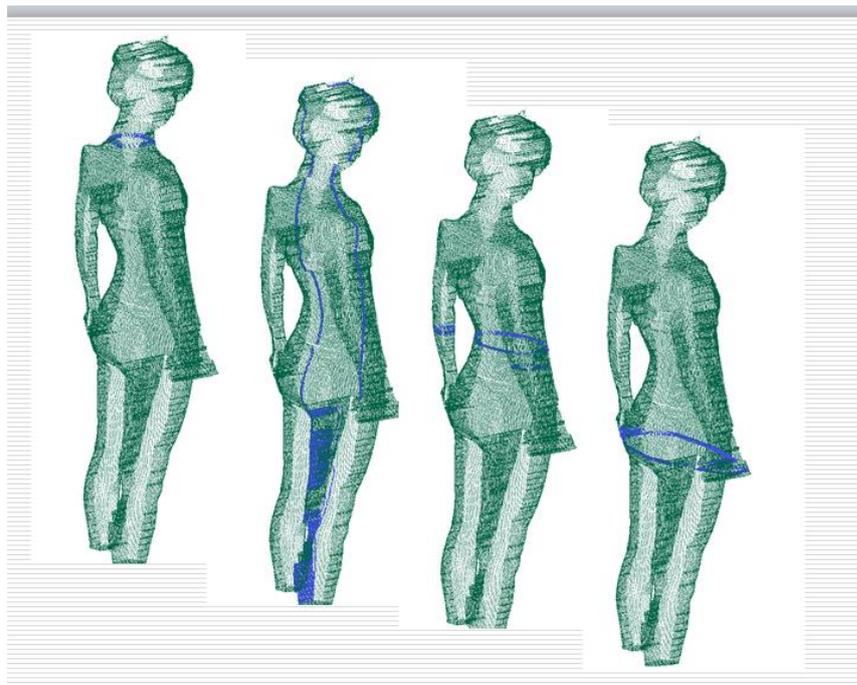


Рисунок 4.25 - Определение размерных признаков по виртуальной *3D* модели фигуры человека

Для разработки методики проведения измерений с помощью системы *3D* сканирования использована следующая нормативно-техническая документация: ГОСТ Р 8.563-96 [23], устанавливающий общие положения и требования к методикам выполнения измерений, к их разработке, аттестации, стандартизации и метрологическому надзору за ними; ГОСТ Р ИСО 9001-2011 [21], устанавливающий требования к устройствам для мониторинга и измерений, включающим в себя контрольное, измерительное и испытательное оборудование; ГОСТ Р ИСО/МЭК 17025-2009 [22], включающий требования и рекомендации по проведению проверок измерительных систем. При разработке систем *3D* сканирования

учитывались как требования перечисленных стандартов, так и метрологические правила и нормы, утвержденные в соответствии с Федеральным законом «Об обеспечении единства измерений» № 102-ФЗ [1].

Разработанное измерительное оборудование включает в себя средства измерений с присущими им метрологическими характеристиками, при выполнении процесса измерений используется программное обеспечение, поэтому система 3D сканирования приведена в соответствие с ГОСТ Р ИСО 9001–2011 [21], а именно:

- ✓ обеспечена идентификация программного обеспечения и измерительного оборудования;
- ✓ осуществляются тестирование и проверка программного обеспечения до начала использования;
- ✓ проводится периодическая калибровка, поверка и проверка измерительного оборудования для обеспечения соответствия метрологическим характеристикам средств измерений.

Тестирование программного обеспечения до начала использования включает в себя проверку алгоритмов на вирусы. Для проведения поверки и проверки измерительного оборудования устанавливается максимально допустимая погрешность измерения. В качестве оборудования для поверки системы используются материальные и эталонные матрицы. Период проведения калибровки, поверки измерительного оборудования определяется условиями его использования, так при изменении положения камеры или ее характеристик необходимо проводить настройку оборудования по материальной матрице. Обработка (вычисление) результатов измерений происходит с помощью программного обеспечения систем 3D сканирования. Разработанная в диссертации и описанная ранее система 3D сканирования по способу действия классифицируется как *цифровой* (выходной сигнал представлен в цифровом виде), *регистрирующий* (предусмотрена регистрация результатов измерений), *суммирующий* (показания некоторых размерных признаков функционально связаны с суммой двух или нескольких

величин) *компаратор* (измерения проводятся методом сравнения с виртуальным измерительным инструментом, значения координат в котором известны). При разработке системы 3D сканирования реализован метод, описанный в главе 3, обеспечивающий исключение систематической погрешности считывающих устройств, благодаря применению эталонной матрицы. Наличие нормированных метрологических свойств означает, что средство измерений способно хранить или воспроизводить единицу (или шкалу) измеряемой величины, и что размер этой единицы остается неизменным в течение определенного времени. Используемые в предложенной системе 3D сканирования виртуальные измерительные инструменты имеют нормированные метрологические свойства, и, следовательно, разработанная система является средством измерений.

Разработка методики проведения измерений поверхности объектов сложной формы с помощью системы 3D сканирования.

Рекомендуемый диапазон измерений объекта: от 0,1 до 2 м.

Метод измерений - бесконтактный, мурусометрический.

Средства измерений, вспомогательные устройства – мобильная или стационарная система 3D сканирования.

Условия измерений: освещенность - дневной свет, отсутствие на измеряемом объекте одежды синего цвета.

Требования к положению измеряемого объекта:

- измеряемый объект должен находиться в зоне охвата считывающих устройств;
- измеряемый человек в нижнем белье, без обуви;
- поза измеряемого - стоит прямо, без напряжения, сохраняя привычную осанку;
- голова фиксируется в плоскости глазнично-ушной горизонтали;
- руки опущены вдоль тела, их положение фиксируется благодаря охвату кистями специальных ограничителей;

- ноги выпрямлены в коленях, слегка раздвинуты, позиция ступней обозначена на платформе.

Последовательность действий при работе с системой 3D сканирования:

- При первоначальной настройке оборудования или после изменения положения считывающих устройств следует:
 - развернуть материальную матрицу;
 - проконтролировать зону охвата считывающих устройств;
 - произвести считывание фактической информации о матрице;
 - свернуть матрицу (удалить из зоны охвата считывающего устройства).
- При поверке систем 3D сканирования следует:
 - не изменять настроек считывающих устройств и положения задней и фронтальной стенок измерительной кабины;
 - установить измеряемый объект на платформу;
 - произвести считывание фактической информации о поверхности измеряемого объекта в интерактивном или автоматическом режиме;
 - передать полученную информацию в базу данных программного обеспечения комплекса;
 - выполнить генерацию 3D модели фигуры человека или иного измеряемого объекта.

Для определения заданных размерных признаков на виртуальной 3D модели фигуры человека согласно последовательности действий, описанной в начале этого параграфа, указывают информативные антропометрические точки, соответствующие ясно выраженным образованиям скелета или точно очерченным границам на мягких тканях. Разработанное программное обеспечение комплекса автоматически заполняет табличную форму с заданным перечнем размерных признаков. Известны следующие способы измерения размерных характеристик тела: определение расстояния между двумя точками в проекции на определенную плоскость (высоты, продольные диаметры, проекционные диаметры); определение кратчайшего расстояния

между точками (прямые или сквозные диаметры); измерение по поверхности (дуговые) – обхваты, дуги, длины, ширины [125].

Получение проекционных размерных признаков осуществляется путем определения вертикальных, горизонтальных продольных диаметров, сквозных диаметров, проекционных диаметров, высот, глубин, для чего предложены универсальные команды «глубина» и «выбор плоскости», в которой необходимо произвести измерения:

- в трансверсальной плоскости: выбрать сечение X и команду *глубина*, указать уровень нанесения сечения на $3D$ модели фигуры, затем соединить заданные точки на сечении $3D$ модели объекта (рис. 4.26, а) для определения горизонтальных диаметров;
- в сагиттальной плоскости: выбрать сечение Y и функцию *глубина*, указать уровень нанесения сечения на $3D$ модели фигуры, затем соединить заданные точки на сечении $3D$ модели объекта (рис. 4.26, б) для определения вертикальных диаметров и высот;
- во фронтальной плоскости: выбрать сечение Z и команду *глубина*, указать уровень нанесения сечения на $3D$ модели фигуры, затем соединить заданные точки на сечении модели объекта (рис. 4.26, в) для определения вертикальных и горизонтальных диаметров, глубин.

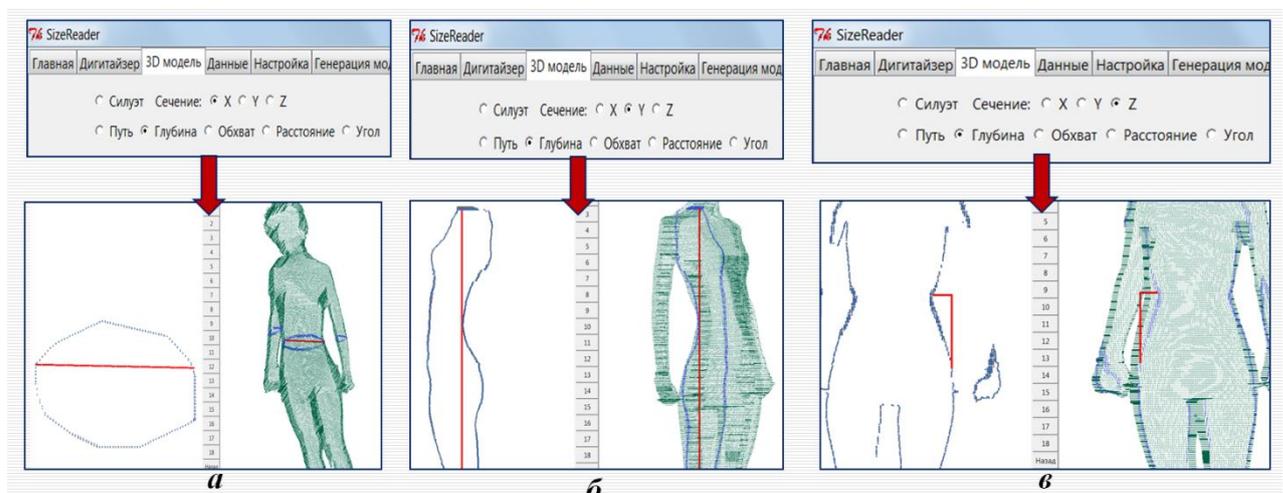
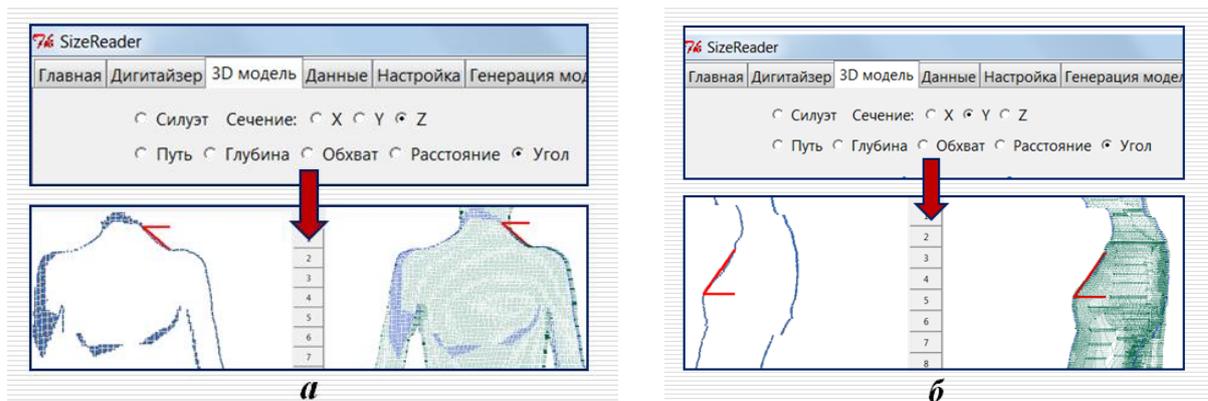


Рисунок 4.26 - Измерение проекционных размерных признаков:
а- сечение в плоскости X , диаметр; б- сечение в плоскости Y , высота;
в - сечение в плоскости Z , глубина

Получение угловых значений в любой из плоскостей: выбирают сечение X для трансверсальной плоскости, сечение Z для фронтальной плоскости (рис. 4.27, а), сечение Y для саггитальной плоскости (рис. 4.27, б), выстраивают сечение в требуемом месте или через заданную конструктором антропометрическую точку, затем указывают точку начала угла, через которую автоматически проводится горизонталь (вертикаль), и вторую выбранную точку для построения другой стороны угла.



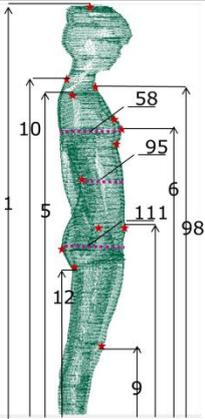
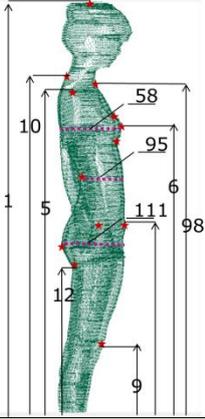
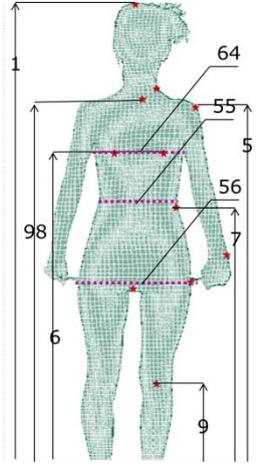
**Рисунок 4. 27 - Определение угловых размерных признаков
а - сечение в плоскости Z ; б - сечение в плоскости Y**

Определение дуговых и обхватных размерных признаков: предусмотрена возможность измерений по построенным сечениям через выделенные автоматически или указанные в интерактивном режиме антропометрические точки (рис. 4.28, а) и возможность проведения любых измерений по поверхности виртуальной 3D модели фигуры человека (рис. 4.28, б).

Для автоматического заполнения табличной формы разработана программа определения антропометрических точек и измерений размерных признаков (табл. 4.2).

Программа содержит описание положения размерных признаков, требования к положению 3D антропометрической модели на экране монитора для корректного выделения антропометрических точек и одновременного измерения размерных признаков по ним. Табличная форма с перечнем размерных признаков заполняется автоматически.

Таблица 4.2 – Программа измерений размерных признаков

№ п.п.	Названия антропометрических точек	Размерные признаки	Положение фигуры
Вид сбоку			
1	Конечная точка третьего пальца	90	
2	Сосковая	6, 15, 16, 46, 35a, 36a	
3	Основание грудных желез сверху	14, 34a, 45	
4	Точка под основанием грудных желёз снизу	17	
Вид спереди			
5	Верхушечная	1	
6	Точка основания шеи спереди	98	
7	Плечевая	5, 31	
8	Сосковая	6,15, 16, 46, 35a, 36a	
9	Основание грудных желёз сверху	14, 34a, 45	
Вид сзади или три четверти			
10	Лопаточная	87, 39	
11	Задний угол подмышечной впадины	11, 28, 57, 38, 47, 45', 38	
12	Точка на уровне талии	7, 18, 25,26, 27, 40, 41, 43, 44 94,77, 36a	
13	Наиболее выступающая точка ягодиц	12, 21	
14	Точка на уровне подъягодичной складки	19, 20	
15	Самое широкое место икроножной мышцы	9, 22	
16	Косточка на щиколотке	23	

Таким образом, система 3D сканирования позволяет определить широкий спектр размерных признаков, выполнить построение различных абрисов и сечений фигуры человека для проектирования одежды.

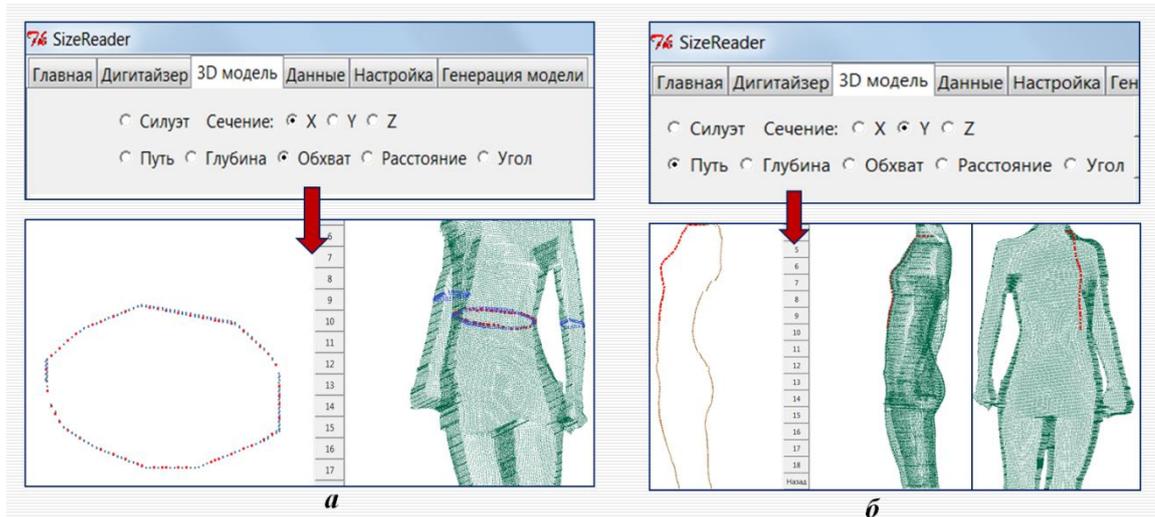


Рисунок 4.28 - Определение дуговых и обхватных размерных признаков: а - по построенным сечениям, б - по поверхности модели

4.4. Оценка точности измерений и проведение массовых антропометрических обследований населения с помощью системы 3D сканирования

Данные, получаемые с помощью 3D сканирования человеческих фигур и разработанной методики проведения измерений, а также контактным способом систематизированы по группам параметров в табл. Д1-Д3 *Приложения Д*: значения размерных признаков статичного объекта (манекена); значения размерных признаков динамичного объекта (фигуры человека); значения измерений параметров лекал швейных изделий с помощью дигитайзера; результаты измерений тех же объектов традиционным контактным способом. За базу для сравнения и оценки метрологических величин, полученных 3D сканированием, принимаются результаты измерений, полученные с помощью контактного метода.

Известно, что погрешность измерений снижается в том случае, если измерения проводятся многократно. Тогда результаты n -го измерения можно сопоставить с остальными, и таким образом исключить случайные погрешности, которые могут оказать негативное влияние на результаты исследований. В таблице 4.3 приведены результаты многократного измерения размерного признака **T95** женской фигуры.

Среднее арифметическое измеряемой величины составляет:

$$\bar{X} = \sum_{i=1}^n \frac{X_{\text{изм. } i}}{n} = \frac{243,0}{15} = 16,20 \text{ см} \quad (4.5)$$

Таблица 4.3 - Результаты измерений размерного признака T_{95}

N п/п	Размерный признак	Величина, см	N п/п	Размерный признак	Величина, см
1	T_{95}	16,20	9	T_{95}	16,30
2	T_{95}	16,30	10	T_{95}	16,30
3	T_{95}	16,20	11	T_{95}	16,20
4	T_{95}	16,10	12	T_{95}	16,20
5	T_{95}	16,20	13	T_{95}	16,10
6	T_{95}	16,20	14	T_{95}	16,20
7	T_{95}	16,10	15	T_{95}	16,20
8	T_{95}	16,20			

Среднее квадратическое отклонение находится по формуле (4.6), где C_n - поправочный коэффициент (табл. 4.4).

$$\sigma_n = \frac{1}{C_n} \sqrt{\left(\frac{\sum |X_{\text{изм. } i} - \bar{X}|^2}{n-1} \right)} \quad (4.6)$$

Рассчитанные значения среднеквадратических отклонений для двух, трех, четырех, пяти, десяти пятнадцати кратных измерений одного размерного признака следующие:

$$\sigma_2 = 0,13 \text{ см}; \quad \sigma_3 = 0,08 \text{ см}; \quad \sigma_4 = 0,09 \text{ см};$$

$$\sigma_5 = 0,08 \text{ см}; \quad \sigma_{10} = 0,07 \text{ см}; \quad \sigma_{15} = 0,07 \text{ см}.$$

Таблица 4.4 - Зависимость коэффициента C_n от числа испытаний n

n	C_n	n	C_n	n	C_n
2	0,798	5	0,940	20	0,987
3	0,866	10	0,973	25	0,990
4	0,922	15	0,982	30 и более	1,000

Определим доверительную вероятность P_d измерений, которые условно принимаются за достоверные. Кроме этого, задаётся уровень значимости, под которым понимается вероятность появления событий, принимаемых условно за невозможные, т.е. вероятность появления грубых ошибок. Уровень значимости q в разных случаях принимают различным в зависимости от дозволенной степени риска. В легкой промышленности уровень значимости принимают равным 2 - 3 %. Уровень значимости q связан с доверительной вероятностью P_d следующей зависимостью (4.7):

$$q = 100 (1 - P_d) \quad (4.7)$$

Принимая значение уровня значимости $q = 2\%$, получаем $P_d = 0,98$.

Тогда суммарную погрешность определяем по формуле (4.8), где t_p - критерий Стьюдента (табл. 4.5).

$$\Delta_{\text{сум}} = \pm \frac{\sigma t_p}{\sqrt{n-1}} \quad (4.8)$$

Таблица 4.5 - Значения t_p при распределении доверительных вероятностей по Стьюденту в зависимости от числа степеней свободы $K=n-1$

Число степеней свободы K	Доверительная вероятность		Число степеней свободы K	Доверительная вероятность	
	0,95	0,98		0,95	0,98
1	12,71	31,82	12	2,18	2,68
2	4,30	6,97	13	2,16	2,65
3	3,18	4,54	14	2,14	2,62
4	2,78	,375	15	2,13	2,60
5	2,57	3,37	16	2,12	2,58
6	2,45	3,14	17	2,11	2,56
7	2,37	3,00	18	2,10	2,55
8	2,30	2,90	19	2,09	2,54
9	2,26	2,82	20	2,09	2,53
10	2,23	2,76	21	2,08	2,52
11	2,20	2,72	22	2,07	2,51

Рассчитанные значения суммарной погрешности для двух, трех, четырех, пяти, десяти пятнадцати кратных измерений одного размерного признака следующие:

$$\Delta 2 = \pm 4,14 \text{ см};$$

$$\Delta 5 = \pm 0,15 \text{ см};$$

$$\Delta 3 = \pm 0,39 \text{ см};$$

$$\Delta 10 = \pm 0,07 \text{ см};$$

$$\Delta 4 = \pm 0,24 \text{ см};$$

$$\Delta 15 = \pm 0,05 \text{ см}$$

Отразив для наглядности изменение суммарной погрешности с помощью диаграммы (рис. 4.29), можно отметить, что пятикратного измерения каждого признака достаточно для того, чтобы обеспечить достоверную оценку метрологических характеристик разработанных систем.

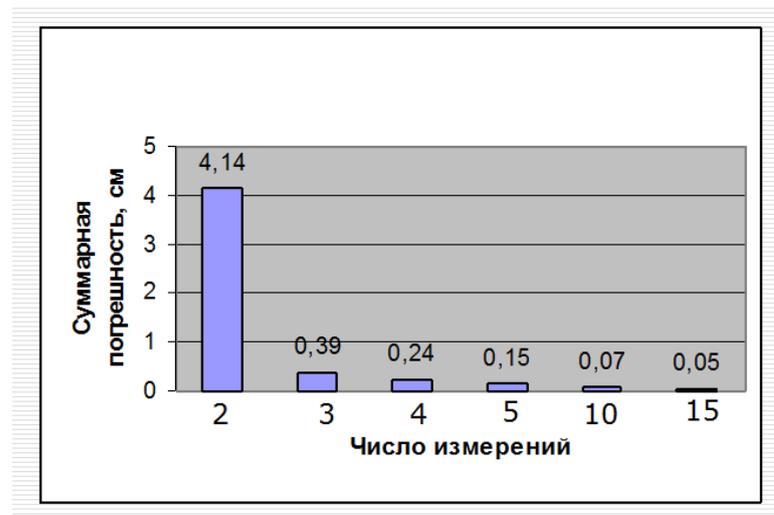


Рисунок 4.29 - Зависимость суммарной погрешности от числа измерений

Целью любого измерения является получение значения измеряемой величины в форме, наиболее удобной для использования. В большинстве случаев к результатам измерений предъявляются высокие требования. Основными характеристиками качества результатов измерений являются точность и достоверность, т.е. степень доверия, которой заслуживают результаты измерений. Эти характеристики во многом зависят от метрологических показаний (цены деления, предела измерения по шкале, погрешности показаний) приборов, применяемых для измерений.

Результат измерения всегда отличается от истинного значения измеряемой величины, т.е. он всегда имеет какую-либо погрешность и

является приближенным значением действительного значения действительного размера измеряемой величины. Это объясняется не только принципиально ограниченной возможностью точности измерений, но и природой измеряемого объекта.

Погрешность измерений $\Delta X_{\text{п}}$ определяется по формуле (4.9), где $\Delta X_{\text{п}}$ погрешность проверяемого средства измерения, $X_{\text{п}}$ значение измеряемой величины, найденное с помощью проверяемого средства измерения, X_0 действительное значение, принятое за базу для сравнения:

$$\Delta X_{\text{п}} = X_{\text{п}} - X_0 \quad (4.9)$$

Случайные погрешности принято характеризовать среднеквадратической погрешностью S_k , рассчитываемой по формуле (4.10):

$$S_k = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (4.10)$$

Относительная погрешность δ равна отношению абсолютной погрешности ΔX к действительному значению измеряемой величины $X_{\text{ср.с.и.}}$, полученному с помощью проверяемого средства измерения (4.11):

$$\delta = \frac{\Delta X}{X_{\text{ср.с.и.}}} \quad \text{или} \quad \delta = 100 \frac{\Delta X}{X_{\text{ср.с.и.}}}, \% \quad (4.11)$$

Рассчитанные значения следующих метрологических величин: погрешность измерений ΔX ; случайная погрешность, характеризующаяся среднеквадратической погрешностью S_k ; относительная погрешность δ ; цена деления шкалы c ; класс точности T отражены в таблице 4.6.

Значение измеряемой величины, соответствующее одному делению шкалы, называется ценой деления. Значения величины цены деления для систем 3D сканирования и дигитайзера определены по меткам эталонной и материальной матриц.

Таблица 4.6 - Результаты расчетов метрологических величин

Показатель	Система 3D сканирования стационарная	Система 3D сканирования мобильная	Дигитайзер
Погрешность, $\Delta X \pm$ см	$\pm 0,0558$ см	$\pm 0,0631$ см	$\pm 0,0028$ см
Цена деления, $c \geq \Delta$	1 мм	1 мм	1 мм
Среднеквадратическая ошибка, S_k	$\pm 0,0005$ см	$\pm 0,0007$	$\pm 0,0003$
Относительная погрешность, δ	$\pm 0,062\%$	$\pm 0,073\%$	$\pm 0,007\%$
Точность прибора, $T\%$	$\pm 0,05\%$	$\pm 0,05\%$	$\pm 0,05\%$

Из таблицы 4.6 видно, что для полученных величин справедливо равенство $c \geq \Delta$, т.е. качество полученных результатов измерения соответствуют требованиям, предъявленным в ГОСТ 31396-2009 [7], ГОСТ 31399-2009 [8], ГОСТ 4103-82 [10], которые допускают погрешность измерений в швейной промышленности $\pm 0,1$ см.

Класс точности — основная метрологическая характеристика прибора, характеризующая допустимые по стандарту значения основных и дополнительных погрешностей, влияющих на точность измерения. Для измерений в легкой промышленности принято указывать класс точности, записываемый в виде числа, например, 0,05 или 4,0. Это число дает максимально возможную погрешность измерительного средства, выраженную в процентах от наибольшего значения величины, измеряемой в данном диапазоне работы прибора.

Согласно существующим в метрологии критериям, если $\delta < 1\%$, то качество измерений является высоким, если $1 \leq \delta < 5$, качество измерений среднее, а если $\delta \geq 5$, качество измерений низкое. Из вычислений следует, что проверяемые системы 3D сканирования обеспечивают высокую точность измерений.

Таким образом, погрешность результатов измерений, полученных при помощи разработанной технологии и опытных образцов систем 3D

сканирования, не превышает пределов, установленных ГОСТ [7], ГОСТ 31399-2009 [8], ГОСТ 4103-82 [10], которые допускают погрешность измерения в швейной промышленности $\pm 0,1$ см, следовательно, разработанные опытные образцы систем *3D* сканирования обеспечивают требуемую точность и позволяют проводить исследования в легкой промышленности.

Сравнительный анализ метрологических и технических характеристик разработанной автором стационарной системы *3D* сканирования с существующими на рынке системами (табл. 4.7) показывает, что разработанный автором образец системы *3D* сканирования обеспечивает более высокие показатели точности по сравнению с зарубежными образцами, в то время как отечественных аналогов на данный момент не существует.

Таким образом, можно отметить, что разработанное теоретическое, методическое, техническое, информационное и программное обеспечение технологии *3D* сканирования обусловило создание опытных образцов систем *3D* сканирования, в полной мере отвечающих требованиям к техническому уровню подобных систем на мировом рынке.

Итоговая таблица 4.8 содержит технические характеристики разработанных систем *3D* сканирования. Представленные в диссертации системы *3D* сканирования обеспечивают высокую точность получаемых размерных характеристик в виде доступном для экспорта в САПР одежды, а также безопасность проведения измерений с медицинской точки зрения. Поэтому наряду с получением размерных характеристик индивидуальных фигур для адресного изготовления одежды актуально использование систем *3D* сканирования для массовых антропометрических обследований населения.

В рамках сотрудничества с Центрами по стандартизации, метрологии, сертификации и торговой инспекции ряда областей Таджикистана и Худжандским университетом им. Осими были проведены антропометрические обследования женского населения Республики

Таджикистан для изучения разнообразия морфологических типов с помощью разработанных опытных образцов мобильной системы 3D сканирования, что подтверждено актами, представленными в *Приложении Л*. В период с 2010 по 2013 гг. выборка составила более 10 000 респондентов [285].

Таблица 4.7 - Анализ метрологических характеристик

Показатель	Аналоги			Система 3D сканирования
	<i>Creaform Handyscan</i>	<i>Konica Minolta</i>	<i>MoveInspect HF</i>	Стационарная
Скорость получения исх. информации	18000 изм. /сек 15 мин.	0,3 – 2,5 сек. передача в ПК 1,5 сек	1 – 2,5 сек. передача в ПК 6.5 сек	0,3-1,5 сек., передача в ПК 1,5 сек.
Измерительный принцип	Лазерный <i>Class 2</i>	Лазерный <i>Class 2</i>	Оптический, структурир. свет	Оптический, без структр. Подсветки
Величина измер. объекта	0,05 - 6 м	0,6 – 1,2 м	0,6 – 1,2 м	0,1 - 2 м
Кол-во точек 3D модели	-	-	-	27 млрд. точек объема или 47,5 млн. точек пов-ти
Способ построения 3D модели	<i>Polygon</i>	<i>Polygon</i>	-	Проекциями последовательно
Форматы сохранения данных	(<i>STL, DXF, OBJ, ASCII points, VRML</i>)	<i>Konica Minolta format, & (STL,DXF, OBJ, ASCII points, VRML)</i>		<i>IV (OpenInventor 2.0), 3d (текстовый строка на точку), Stanford University PLY, CGM (Computer Graphics Metafile) DXF, XYZ</i>
Передача данных на компьютер (формат и способ)	<i>TCP</i>		<i>TCP/IP</i>	Любой формат в т.ч. <i>JPG TIFF</i>)
Требования к компьютеру	Высокие	Высокие	Высокая производительность	Низкие, 512 Мб ОЗУ, <i>Pentium IV</i>
Операционная система	<i>Windows</i>	<i>Windows</i>	<i>Windows</i>	<i>Windows, UNIX (включая MacOS)</i>
Совместимость интерфейса			Совместим с программами сбора данных	Собст. пр-ма сбора данных, совместим с др.форматами изображений. <i>Tk</i> (для <i>Windows</i> и <i>MacOS</i> родной, для <i>UNIX</i> использует темы <i>GTK</i> и <i>Motif</i>)
Погрешность	до 0,05 мм	± 1,4 мм / ± 1,04 мм / ± 0,4 мм	0,1	0,03-0,1 мм
Класс точности				0,05
Дополнительные аксессуары	Спец. метки на объекте	-	Масштабная линейка, спец. метки на объекте	Эталонная матрица, требуется 1 раз при настройке

Таблица 4.8 - Технические характеристики стационарной и мобильной систем 3D сканирования

№	Наименование характеристики	Значение показателя	
		стационарная	Мобильная
1	Формат сохраняемых данных и объем информации (мБ)	Стандартный: текстовый (строка на точку). Объем информации для одного изображения: не архивированный – около 1 МБ, в архиве - 55 Кб	
2	Экспорт в форматы	<i>IV, CGM, PLY, DXF, XYZ, STL и OBJ</i>	
3	Количество точек в облаке	Около 3 млн., в зависимости от площади поверхности фигуры и предъявляемых требований	
4	Режим автоматических или интерактивных измерений точек	Интерактивный: прямой выбор точек указанием мыши или выбор сечения, а затем на нём точек	
5	Возможность измерения расстояний между случайно выбранными точками	Существует	
6	Положение сканируемой фигуры	Поза измеряемого (стоит прямо, без напряжения, сохраняя привычную осанку), руки опущены вдоль тела, кисти сжаты, в руках ограничителя, не позволяющие рукам прикасаться к телу. Ноги слегка раздвинуты. Позиция стоп обозначена на платформе.	
7	Время сканирования и последующей обработки информации	Время сканирования - 1/400 сек., обработки информации, включая генерацию 3D модели - 1-30 мин. (в зависимости от настроек).	15 сек. Анализ полученной информации и генерация 3D модели (присутствие снимаемого человека не требуется): 1-30 мин. (в зависимости от настроек).
9	Габаритные размеры	Помещение с площадью - не менее 9 м ²	В нерабочем состоянии, м: высота 2,2; ширина 1,4, глубина 0,55. В рабочем состоянии, м: высота 2,2, ширина 1,4, глубина от 2 и более.
10	Внешние условия, требования к освещению	Необходимо отсутствие на человеке предметов одежды синего цвета. Затемнение помещения не требуется	
11	Погрешность измерения длин, обхватов	Для длин - не более 1 мм, для обхватов - не более 2 мм	Длины: не более 3 мм Обхваты: не более 3 мм.

Для репрезентативности выборки при проведении исследований соблюдались следующие условия:

- ✓ в выборку включены женщины всех возрастных групп от 18 до 59 лет: (группы 18-19 лет, 20-29 лет, 30–39, 40-49 лет, 50-59 лет);
- ✓ антропометрическое обследование проводилось как среди городского, так и сельского населения;
- ✓ в выборку включены женщины различных профессий, работники физического и умственного труда (учителя, домохозяйки, работники торговли, полевые работники и т.д.);
- ✓ соблюдена случайность выборки;

✓ соотношения отдельных групп людей, включённых в выборку, соответствовали данным переписи населения Таджикистана.

По данным проведенного исследования построен вариационный ряд длин тела женского населения Республики Таджикистан, выявлено, что для женского населения Таджикистана, проживающего в Согдийской, Кулябской, Бадахшанской и Хатлонской областях внутригрупповая (индивидуальная) изменчивость длины тела в пределах однородной национальной группы значительно больше групповой изменчивости. Размах же индивидуальной изменчивости длины тела лежит в пределах $M \pm 3,5 \sigma$. Среднее квадратическое отклонение размерного признака T_1 для женского населения Таджикистана по данным исследования составило $\sigma_2 = 6,12$ см, а средняя арифметическая величина признака T_1 $M = 161,25$ см. Это означает, что в однородной национальной группе размах индивидуальной изменчивости длины тела составляет около 42 см. В данной группе могут встретиться люди, имеющие длину тела от 139,83 до 182,27 см. Наибольшая длина тела наблюдается в младшей возрастной группе.

Разработана шкала процентного распределения женских типовых фигур Таджикистана, при этом в качестве типовых выделены те фигуры, частота встречаемости которых составляет не менее 0,1% (табл. 4.9).

При сравнении шкалы процентного распределения типовых фигур женщин Республики Таджикистан со шкалой процентного распределения размеров-ростов и размеров-полнот женщин Москвы и Московской области, разработанной 2003 г. ОАО «ЦНИИШП» [7 ГОСТ 31396-2009], были установлены различия как по величине антропометрических признаков, так и по соотношению размеров и их процентному распределению. Для женского населения Таджикистана выделено только четыре полнотные группы по обхватам груди и бедер (табл. 4.10), тогда как для Москвы и Московской области выделено шесть полнотных групп от нулевой до пятой. Общее число

типовых фигур женского населения Таджикистана составило 82, а для Москве и Московской области выделено 144 фигуры.

В результате проведенных исследований можно отметить различия в процентном распределении типовых фигур женщин в Таджикистане. Так, количество типовых фигур женщин Таджикистана в первой полнотной группе составляет 18,4%, а по Москве и Московской области – 16,6%; во второй полнотной группе в Таджикистане – 28,7%, а по Москве и Московской области – 25,2%; в третьей полнотной группе соответственно 36,9% и 30,9%; в четвертой полнотной группе - 16,5% и 16,0%. Кроме того, в шкале процентного распределения типовых женских фигур России есть нулевая и пятая полнотные группы, которые не были выявлены в Таджикистане. Согласно новой российской типологии изменился состав ростов типовых женских фигур, рост 146 см заменили ростом 182 см, в то время как по результатам массовых антропометрических обследований таджикских женщин встречаемость длины тела, равной 146 см, составила 2,1%, а длины тела, равной 182 см, - 1,4%. Ранее рост 182 см среди женского населения Таджикистана практически не встречался.

Проведенные массовые антропометрические обследования женского населения на территории Таджикистана показали, что у женщин увеличились продольные размеры тела, обхват груди практически не изменился, обхват талии и бедер стали меньше в младшей и средней возрастной группе. Однако в старшей возрастной группе обхват бедер с учетом выступа живота увеличился, что связано с уменьшением физической нагрузки и активности в этой возрастной группе. По сравнению с советским периодом изменилась осанка, женщины стали менее сутулыми.

Массовые антропометрические измерения, проведенные с помощью системы 3D сканирования в Республике Таджикистан, доказали высокую эффективность разработанного инструментария.

Руководителями государственных органов стандартизации, метрологии и сертификации Таджикистана отмечено, что наличие актуальной и достоверной информации о размерных характеристиках и внешней форме тела позволит обеспечить соразмерность проектируемой одежды фигурам индивидуальных потребителей и повысить удовлетворенность населения Таджикистана в швейных изделиях, производимых в условиях массового производства, что способствует повышению качества жизни в стране (*Приложение Л*).

Выводы по четвертой главе:

1. Определены основные задачи, решаемые с использованием разработанных систем *3D* сканирования, в том числе: распознавание формы и размеров пространственных объектов для оцифровки, определение любых размерных характеристик внешней формы, построение сечений поверхности и *3D* модели измеряемого объекта, сопоставление *3D* моделей объектов, оценка соответствия внешней формы готового швейного изделия виртуальной *3D* модели эскизного задания дизайнера и *3D* модели проектного решения конструктора.
2. Разработана информационно-техническая модель систем *3D* сканирования, определяющая механизм выбора, комплектования, размещения технических средств и создания программного обеспечения для изучения поверхности измеряемых объектов, хранения, обработки и выдачи требуемой информации.
3. Разработана модель информационного обеспечения систем *3D* сканирования, выделены информационные потоки между основными объектами процесса для ввода, обработки, хранения, передачи и представления информации пользователям, экспорта в другую систему, обратной связи по коррекции, отражению и регистрации цифровой, визуальной и метрической информации в автоматическом и интерактивном режимах и удобной для пользователя форме.

4. Разработано техническое обеспечение технологии *3D* сканирования, определяющее возможность эксплуатации и развития системы, включающее комплекс оборудования и аппаратных средств, формируемый по иерархическому принципу и состоящий из считывающих устройств и автоматических регуляторов синхронизации их работы, средств ввода, фильтрации и отображения информации, эталонной и материальной матриц, компьютерного оборудования, программного обеспечения, панелей управления.

5. Разработано программное обеспечение технологии *3D* сканирования, учитывающее кроссплатформенность и включающее модули задания эталонной информации, работы с матрицами для обработки изображений, распознавания контуров объекта, построения *3D* модели, расчета пути по поверхности между любыми точками, интерфейс. Определена последовательность диалоговых взаимодействий пользователя с программными средствами системы, предложено многоуровневое пользовательское меню, обеспечивающее удобный режим активизации функций системы для выполнения заданных проектных функций.

6. Разработаны опытные образцы стационарной и мобильной систем *3D* сканирования, которые можно классифицировать по способу действия как цифровой, регистрирующий, суммирующий компаратор, имеющий нормированные метрологические свойства и являющийся средством измерений. Погрешность измерений стационарной системы *3D* сканирования составляет $\pm 0,0558$ см, а мобильной системы $\pm 0,0631$, что меньше установленной ГОСТами погрешности измерений в швейной промышленности ($\pm 0,3$ см). Класс точности разработанных систем равен 0,05, что в четыре раза выше требований, предъявляемым к средствам контактных измерений. Скорость получения информации о поверхности составляет от 0,5 до 30 сек., а ее обработки для генерации *3D* модели не превышает 10 мин. Для размещения стационарной системы *3D* сканирования

нужно не менее девяти м², а для мобильной системы достаточно трех м² без специальных требований к условиям освещения объекта.

7. Сравнительный анализ метрологических и технических характеристик опытных образцов и зарубежных систем *3D* сканирования для швейной промышленности показал более высокие показатели точности отечественных разработок, в полной мере отвечающих требованиям к техническому уровню подобных систем на мировом рынке.

8. Разработанные системы *3D* сканирования выполняют следующие функции: получение информации со считывающих устройств или внешнего носителя; генерация и отображение *3D* модели объекта; построение и отображение сечений виртуального *3D* изображения в горизонтальной, фронтальной и сагиттальной плоскостях; измерение расстояний на поверхности *3D* изображения между любыми точками оцифрованной модели объекта в интерактивном режиме; измерение проекционных, дуговых, обхватных, угловых размерных признаков поверхности объекта; сохранение результатов измерений; экспорт полученных данных в САПР.

9. Разработана 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.

10. Разработана программа измерений виртуальной *3D* модели фигуры человека, определяющая состав информации о размерах и форме поверхности тела человека, корректное выделение антропометрических точек, автоматическое получение проекционных, дуговых и обхватных размерных признаков, угловых значений в трансверсальной, сагиттальной, фронтальной, горизонтальной плоскостях, построение различных абрисов и сечений фигуры человека для проектирования одежды.

11. Проведены массовые антропологические обследования женского населения Республики Таджикистан с помощью разработанных опытных

образцов мобильной системы 3D сканирования совместно с Худжандским университетом им. Осими, при этом в 2010-13 гг. выборка составила более 10 000 респондентов. По данным проведенного исследования разработана шкала процентного распределения женских типовых фигур Таджикистана, при этом в качестве типовых выделены те фигуры, частота встречаемости которых составляет не менее 0,1%. Руководителями государственных органов стандартизации, метрологии и сертификации Таджикистана отмечено, что наличие актуальной и достоверной информации о размерных характеристиках и внешней форме тела позволило обеспечить соразмерность проектируемой одежды фигурам индивидуальных потребителей и повысить удовлетворенность населения Таджикистана в швейных изделиях, производимых в условиях массового производства, что способствует повышению качества жизни в стране.

Глава 5. МЕТОДОЛОГИЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ ОДЕЖДЫ С ПОМОЩЬЮ ТРЕХМЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ

Традиционно оценка качества швейных изделий проводится на основе субъективных мнений экспертов. При внедрении методов автоматизированного виртуального проектирования одежды проектные решения могут представляться цифровыми 2D и 3D моделями проектируемых изделий и оцениваться в ходе виртуальной примерки на 3D моделях соответствующих фигур, что обуславливает необходимость создания методологии объективной оценки качества проектных решений, создаваемых современными САПР с помощью существующих инновационных технологий (рис. 5.1).



Рисунок 5.1 - Концептуальная модель оценки качества проектных решений одежды на основе 3D сканирования

Технология 3D сканирования лежит в основе создания инструментария объективной оценки качества проектных решений, которые могут быть представлены в цифровом виде для проведения обоснованного

сопоставления различных количественных критериев как для сравнения с эталоном, так и с выбранными параметрами. Таким образом, для оценки качества проектных решений одежды могут использоваться объективные количественные критерии для проведения автоматизированной процедуры контроля на основе *3D* сканирования и субъективные качественные критерии для визуального анализа в интерактивном режиме.

5.1. Оценка антропометрического соответствия одежды параметрам фигуры

Важной задачей при оценке качества готовых изделий и их виртуальных *3D* моделей является определение антропометрического соответствия одежды фигуре. Для ее решения необходимы единые критерии сопоставления параметров одежды, лекал, эскиза и фигуры человека между собой. Взаимосвязь антропометрических параметров фигуры, отраженных в виртуальной *3D* модели фигуры, с параметрами готового изделия, его *3D* модели, лекал и эскиза для проведения поэтапной процедуры оценки качества проектного решения представлена на рисунке 5.2. Возможности технологии *3D* сканирования позволяют перенести контроль качества проектного решения одежды в виртуальную *3D* среду, для чего следует систематизировать информацию о проектируемом изделии и сопоставить с антропометрическими характеристиками фигур, для которых она создается.

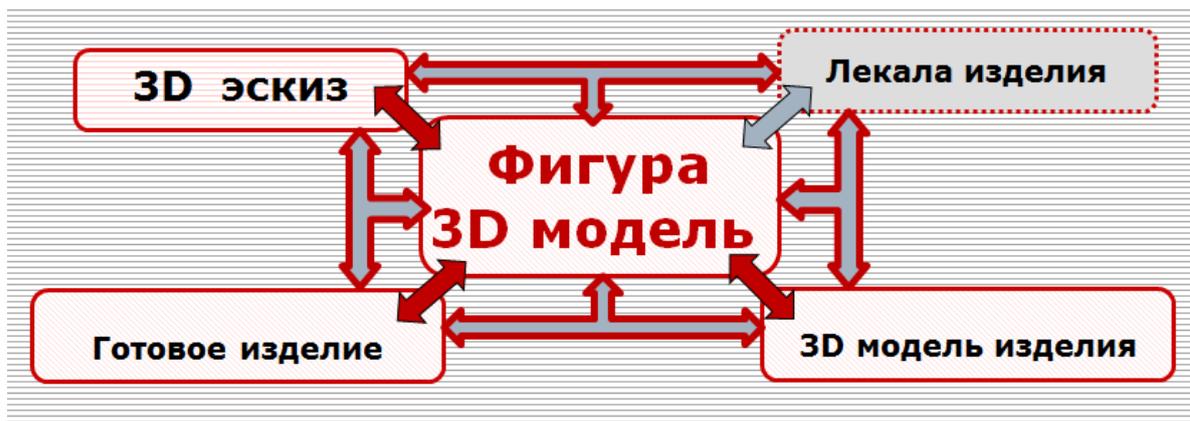


Рисунок 5.2 – Схема взаимосвязей между субъектом и объектами проектного решения швейного изделия

Оценка антропометрического соответствия проектируемой одежды базируется на перечне параметров, требующих контроля. Для определения этого перечня был проведен опрос, в качестве экспертов которого выступили 110 человек, в том числе специалисты швейной промышленности по контролю качества продукции, ритейлеры и преподаватели кафедры «Художественное моделирование, конструирование и технология швейных изделий» МГУДТ, со стажем работы от семи до двадцати пяти лет. Экспертами расставлялись баллы по мере убывания значимости параметров путем присвоения наиболее значимому параметру ранга, равного 1, а наименее значимому - ранг 10 (или 4 для поясной одежды) в соответствии с анкетой «Выявление значимости антропометрических параметров», представленной в *Приложении Е*. Для определения наиболее значимых характеристик использовался метод ранжирования заданных параметров, требующий достаточной степени согласованности мнений экспертов, оцениваемой по коэффициенту конкордации W , рассчитанного по формуле (5.1) и представляющего собой коэффициент корреляции группы экспертов:

$$W = 12S/m^2 (n^3 - n) \quad (5.1)$$

где S – сумма квадратов отклонений (СКО), m – число экспертов, n – число оцениваемых факторов.

Значимость коэффициента конкордации W определялась путем расчета критерия Пирсона по формуле (5.2):

$$(n-1) m W > \chi^2 \quad (5.2)$$

Значения коэффициентов конкордации и критерий Пирсона представлены в таблице 5.1, которые с вероятностью 95 % свидетельствуют о высокой неслучайной согласованности мнений опрашиваемых экспертов. Совокупность оценок экспертов по каждому параметру в целом отражает антропометрическое соответствие одежды фигуре человека.

Результаты ранжирования значимости параметров оценки антропометрического соответствия графически изображены на рисунке 5.3, где исследуемые критерии показаны в порядке убывания значимости.

Таблица 5.1 – Коэффициенты конкордации и критерий Пирсона для параметров плечевой одежды

№ параметра	Коэффициент конкордации W , %	Критерий Пирсона χ^2	Значимость коэффициента корреляции, %	Согласованность мнений экспертов
1	236,471	19863,59	≥95	высокая
2	245,739	20642,07		высокая
3	262,92	22085,29		высокая
4	330,454	27758,11		высокая
5	333,970	28053,51		высокая
6	297,373	24979,37		высокая
7	272,484	22888,66		высокая
8	287,545	24153,81		высокая
9	318,780	26777,59		высокая
10	339,515	28519,25		высокая

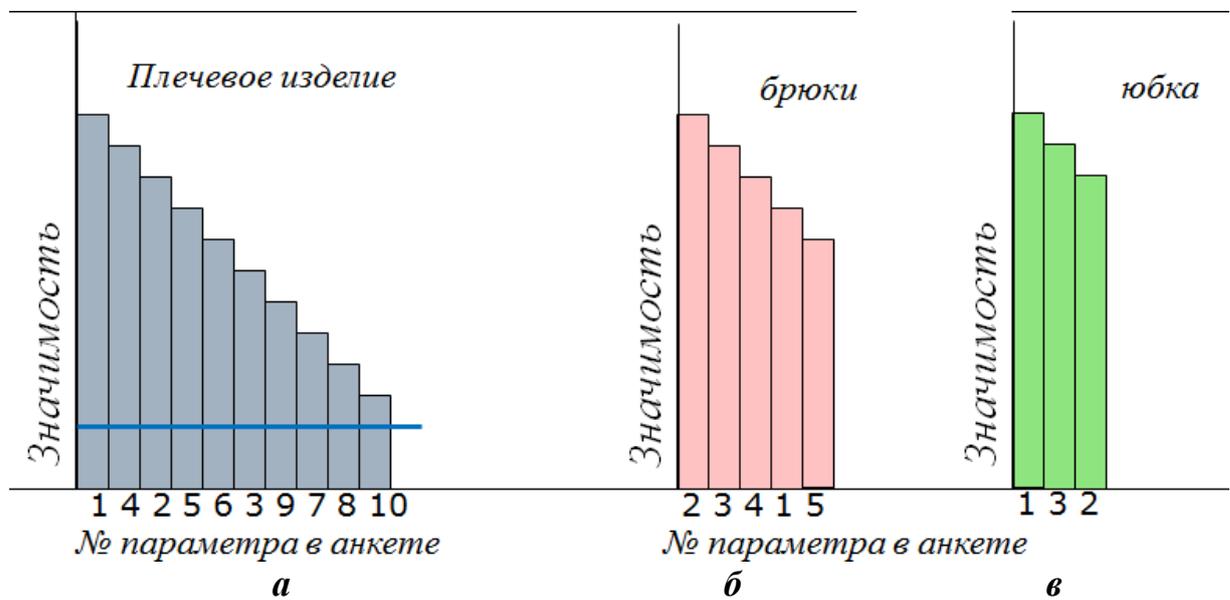


Рисунок 5.3 – Диаграммы ранговой оценки значимости антропометрического соответствия антропометрических параметров: а - для плечевой одежды; б, в - для поясной одежды

Ключевыми критериями оценки антропометрического соответствия для плечевой одежды стали: длина спинки, длина рукава, ширина спинки, ширина изделия на уровне талии, груди, бедер, ширина рукава (табл. 5.2), для брюк – ширина на уровне талии и бедер, длина брюк по шаговому шву, для юбки - ширина на уровне талии и бедер.

Таблица 5.2 - Параметры антропометрического соответствия одежды фигуре человека в порядке убывания значимости

	РП 3D модели фигуры	Параметры 3D эскиза, образцов одежды, 2D лекал деталей изделия	Отклонение от РП фигуры, см	Отклонение в 3D, см
1	T40	Длина спинки до талии	± 0,5	± 0,1
2	T33 –T31	Длина рукава	± 2,0	
3	T47	Ширина спинки	± 1,0	± 0,1
4	T18 или T55	Ширина изделия по линии талии	± 2,0	± 0,1
5	T19 или T56	Ширина изделия на уровне линии бедер	± 2,0	± 0,1
6	T16 или T58	Ширина изделия на уровне линии груди (глубины проймы)	± 0,5	± 0,1
7	0,5 T28 или T57	Ширина рукава вверху	± 1,0	± 0,1
8	T44-T43	Длина переда	± 0,5	± 0,1
9	T45	Ширина переда на уровне верхнего основания грудных желез	± 0,5	± 0,1
10	0,5 T29	Ширина рукава внизу	± 2,0	± 0,1
Поясные изделия (брюки)				
1	T18 или T55	Ширина по линии талии	± 1,0	± 0,5
2	T19 или T56	Ширина на уровне линии бедер	± 2,0	± 0,5
3	T27	Длина по шаговому шву	± 2,0	± 0,5
4	T25	Длина по боковому шву	± 2,0	± 0,5
5	T77 или T104	Длина среднего шва брюк	± 1,0	± 0,5
Поясные изделия (юбка)				
1	T18 или T55	Ширина юбки по линии талии	± 0,5	± 0,5
2	T19 или T56	Ширина юбки на уровне линии бедер	± 1,0	± 0,5
3		Длина юбки		± 0,5
Головные уборы				
1	T48	Длина внутренней окружности	± 0,5	± 0,2

На основании данных диаграмм о значимости критериев антропометрического соответствия проектируемой одежды сформирована последовательность этапов процедуры оценки с помощью 3D сканирования путем создания баз данных: параметров типовых фигур мужчин, женщин и детей; 3D виртуальных манекенов типовых фигур; 3D моделей фигур, полученных 3D сканированием; 2D лекал деталей изделий; 3D эскизов; 2D фотографий изготовленных образцов одежды; 3D моделей изготовленных образцов одежды. Последовательность процедуры оценки антропометрического соответствия одежды включает следующие действия:

- 1) *3D* сканирование фигуры потребителя или выявление антропометрических параметров субъекта проектирования.
- 2) Генерация виртуальной *3D* модели фигуры человека по данным *3D* сканирования или выбор *3D* модели фигуры из базы данных виртуальных *3D* манекенов.
- 3) Определение параметров антропометрического соответствия проектируемой одежды.
- 4) Экспорт *3D* модели эскиза проектируемого изделия, виртуального *3D* манекена заданной фигуры, *3D* модели проектируемой одежды в программную среду системы *3D* сканирования.
- 5) Измерение параметров антропометрического соответствия *3D* модели эскиза, *3D* модели проектируемого изделия, *2D* лекал деталей изделия, *3D* виртуального манекена.
- 6) Совмещение *3D* моделей эскиза, проектируемой одежды и фигуры человека между собой, а при работе с лекалами анализ выделенных параметров в *2D* формате с помощью функции дигитайзера.
- 7) Сопоставление антропометрических параметров, выделенных при совмещении *3D* моделей, их визуальная и количественная оценка.
- 8) При запросе пользователя определение величины проекционных зазоров по заданным антропометрическим уровням.
- 9) Формирование результата оценки качества проектного решения как степени антропометрического соответствия параметров проектируемой одежды фигуре человека.

Визуальное сопоставление ширины и длины спинки пиджака по *2D* и *3D* техническим эскизам, *3D* моделям фигуры человека и проектируемого изделия на заданной фигуре представлено на рисунке 5.4.

Процедура виртуальной автоматизированной оценки антропометрического соответствия проектируемого мужского пиджака путем сопоставления параметров *3D* эскиза и *3D* модели фигуры человека отображена на рисунке 5.5.

Процедура оценки антропометрического соответствия проектируемой женской одежды конкретной фигуре отражена на рисунке 5.6, где приведено сопоставление отсканированной фигуры человека и соответствующего типового 3D виртуального манекена из базы данных САПР «*Eleandr 3D CAD*».

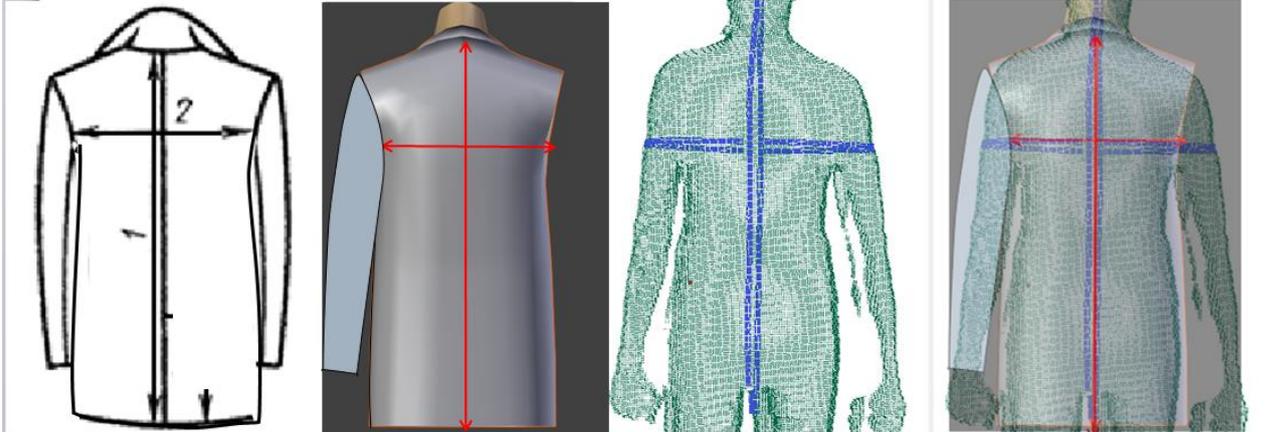


Рисунок 5.4 – Измерения параметров антропометрического соответствия по 2D эскизу, 3D эскизу, 3D модели фигуры человека, 3D модели проектируемого изделия на заданной фигуре

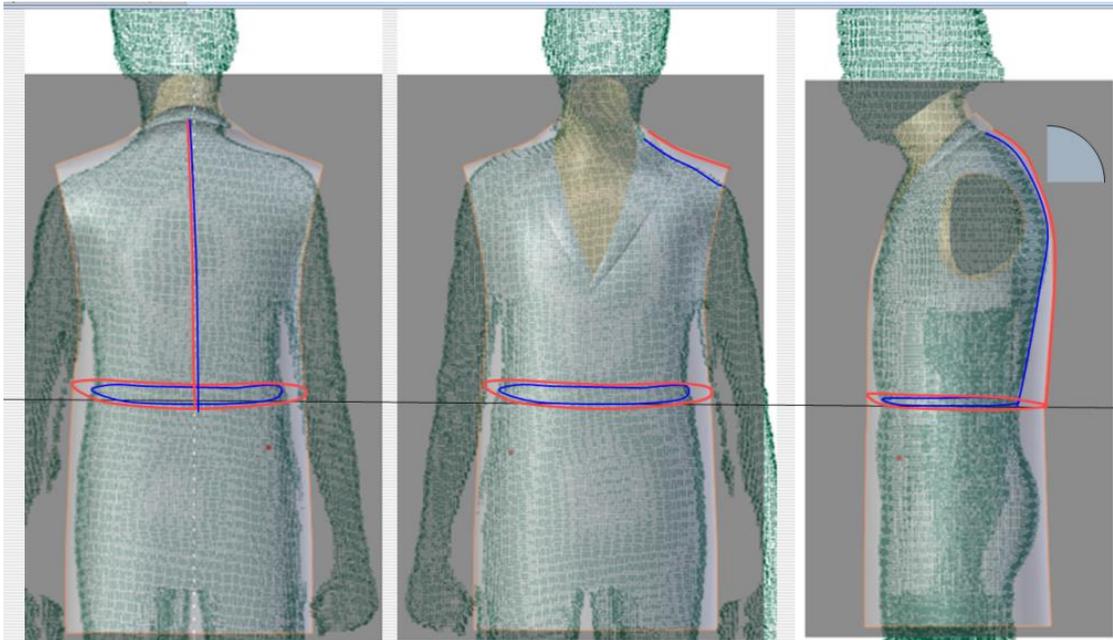


Рисунок 5.5 - Сравнение 3D эскиза с 3D моделью фигуры

Результаты оценки антропометрического соответствия проектируемой женской одежды конкретной фигуре могут быть отображены на лекалах изделия для их корректировки путем изменения контролируемых параметров в системе «3D лекала - 3D модель изделия - 3D модель фигуры» (рис. 5.7). Таким образом, система 3D сканирования выступает в качестве

эффективного инструментария для объективной оценки антропометрического соответствия проектируемой одежды заданным фигурам, в том числе для проведения виртуальной примерки.

По результатам оценки антропометрического соответствия разрабатываемых моделей одежды и готовых изделий размерам фигуры выявлена необходимость глобальной систематизации методов маркировки одежды и целесообразность учета промышленной маркировки одежды при проведении виртуальной примерки одежды массового производства.

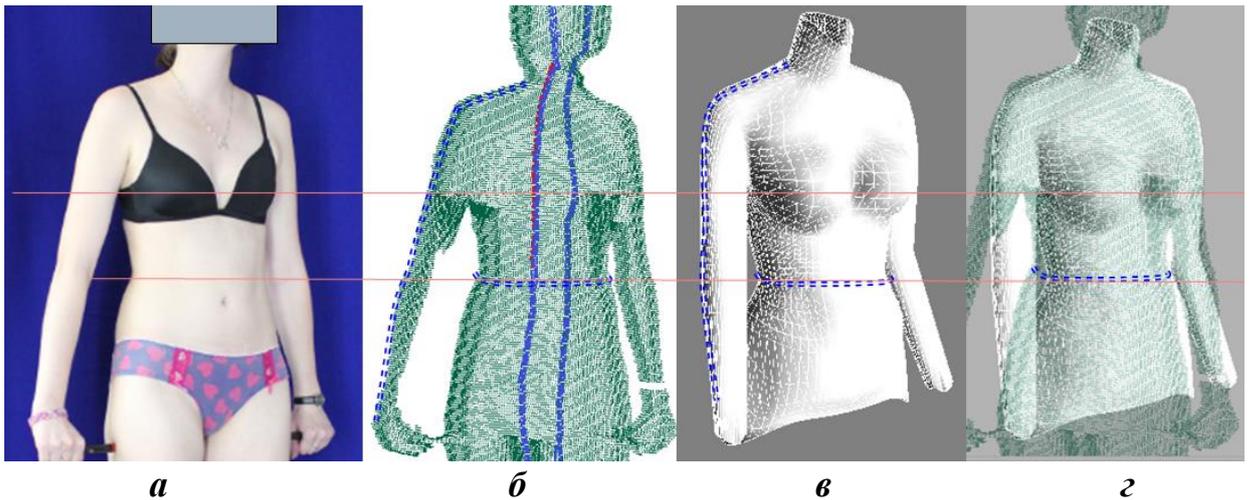


Рисунок 5.6. – Оценка антропометрического соответствия одежды: *a* – 2D фото фигуры; *б* – отсканированная 3D модель фигуры; *в* - 3D виртуальный манекен из БД; *г* – совмещение 3D моделей

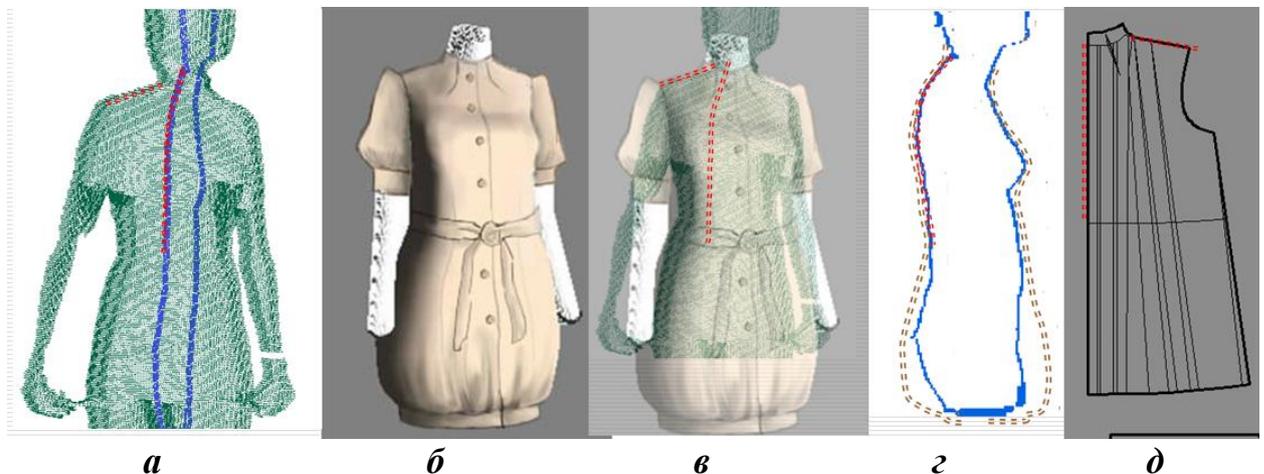


Рисунок 5.7 – Оценка антропометрического соответствия одежды: *a* – отсканированная 3D модель фигуры; *б* - 3D модель изделия; *в* – совмещение 3D моделей; *г* – сопоставление сечений; *д* – лекала

5.2. Разработка метода определения корректного расположения конструктивных членений с учетом поведения материалов в одежде

Одним из основных способов конструктивного решения внешней формы одежды является введение таких членений, как вытачки и швы, которые позволяют достаточно просто и точно отразить в изделии информацию о заданном строении поверхности проектируемого изделия. Это предопределяет важность оценки внешней формы проектируемого швейного изделия с позиции корректности антропометрического расположения конструктивных элементов, определяющих объемную форму одежды и соответственно распределения конструктивных проекционных прибавок по участкам конструкции.

О корректности антропометрического расположения формообразующих линий членения можно судить по месту перехода от зоны опорного давления к зоне касательного давления, что обуславливает целесообразность использования инструментального потенциала системы *3D* сканирования для выявления особенностей поверхности фигуры и построения вертикальных сечений внешней формы одежды по линиям, ограничивающим так называемые «конструктивные полосы».

Функционал системы *3D* сканирования позволяет построить сечения фигуры человека и ее манекена в плоскостях, параллельных осям *OX*, *OY*, *OZ*, через любую точку поверхности, в том числе для выделения основных конструктивных полос на *3D* модели манекена (рис. 5.8).

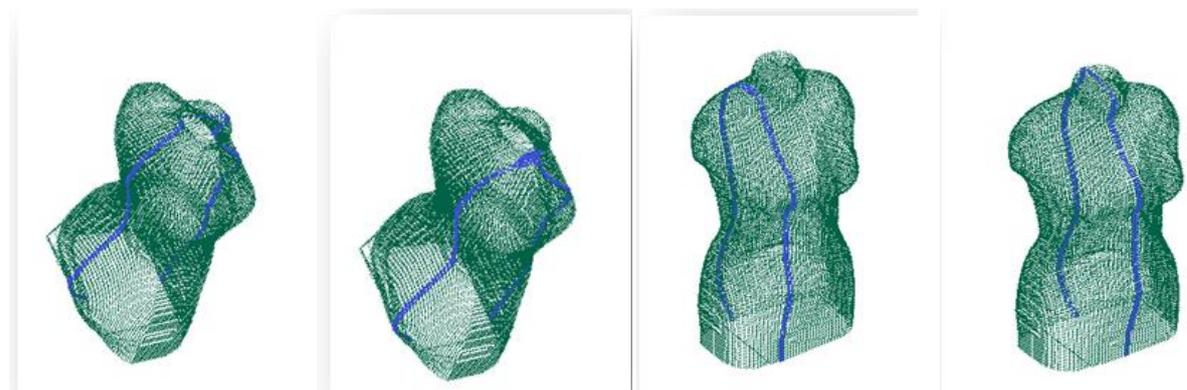


Рисунок 5.8 - Расположение линий ограничения конструктивных полос

В большей степени визуально заметна антропометрическая корректность расположения конструктивных членений в одежде прилегающего и полуприлегающего силуэта, которая почти повторяет форму поверхности фигуры человека. Силуэтная форма определяется, прежде всего, распределением величины конструктивной прибавки на свободу облегания по линии талии, так как на уровнях груди и бедер эти прибавки имеют меньшие значения, а одежда облегает поверхность туловища.

Для определения максимальной, минимальной величины и шага варьирования конструктивной прибавки к обхвату талии можно воспользоваться способом расчета минимально необходимой прибавки на свободное облегание с учетом рекомендаций по заданию конструктивных прибавок для одежды прилегающего и полуприлегающего силуэта. Для расчета минимально необходимой прибавки на свободное облегание (P_{min}) использовалась формула (5.1):

$$P_{min} = 0,5dэ T_i + 0,5\Delta T_i + P \text{ в.п.}, \quad (5.1)$$

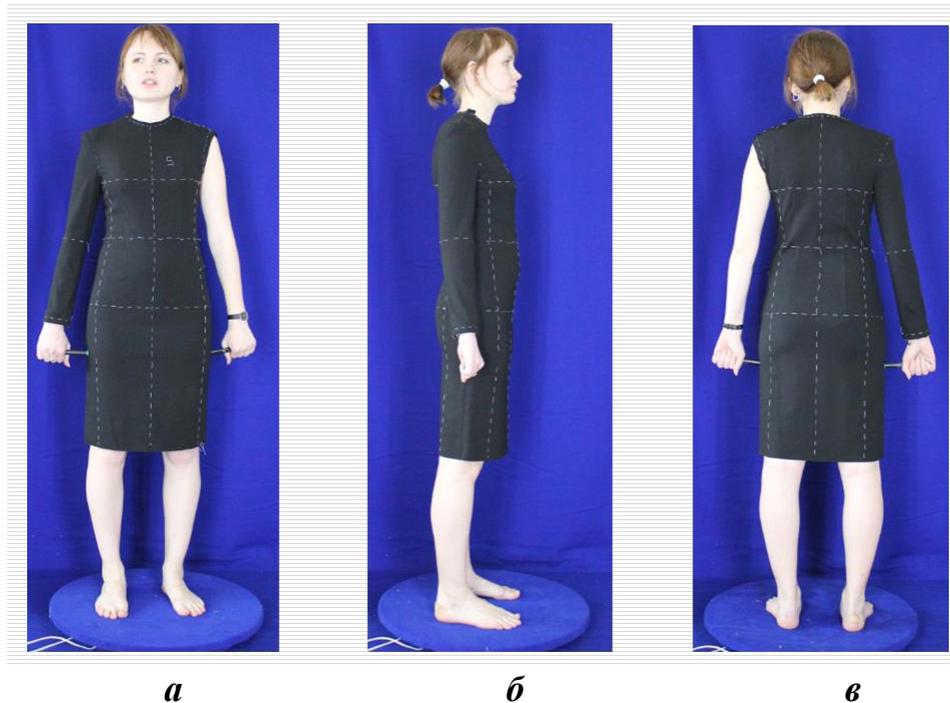
где $dэ T_i$ – динамический эффект размерного признака при дыхании;

ΔT_i – интервал безразличия по этому признаку;

$P \text{ в.п.}$ – прибавка на толщину воздушной прослойки.

В процессе проведения экспериментальных исследований в качестве минимальной прибавки к полуобхвату груди была принята $Pг = 4,5$ см, а к полуобхвату бедер - $Pб = 4,0$ см. Величины прибавок на линии талии варьировались от 1,5 до 5,5 см с шагом в 1 см. Процентное распределение суммарного раствора вытачек проектируемых женских платьев составляло на спинке 30-40%; на боковой части 40-55 %; на полочке 15-30%. Положение вытачек на талии полочки и спинки изменялось от заданного по методике конструирования в обе стороны с шагом, равным $\frac{1}{2}$ раствора вытачки. Чертеж базовой конструкции (БК) платья полуприлегающего силуэта представлен на рисунке 5.9, а параметры конструкции приведены в таблице 5.3.

изготовленных в промышленных условиях ООО «Трикотажлюкс». Внешний вид одного из изготовленных макетов платьев отражен на рисунке 5.10.



**Рисунок 5.10 – Внешний вид макета платья прилегающего силуэта:
а - вид спереди; б - вид сбоку; в – вид сзади**

Для определения корректного расположения вертикальных членений основные антропометрические уровни фигуры человека разбиты на зоны, ограниченные линиями конструктивных полос, и пронумерованы (рис. 5.11).

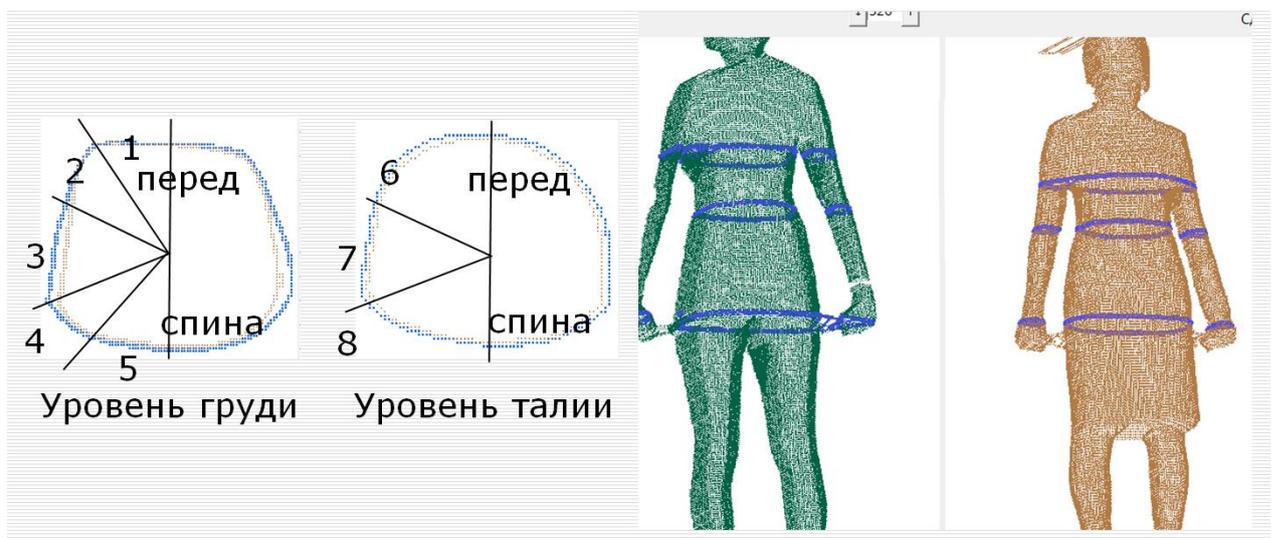


Рисунок 5.11 – Зоны распределения конструктивных прибавок

Для определения величин проекционных зазоров при переходе от одной конструктивной полосы к другой построены горизонтальные и вертикальные сечения. Совмещение виртуальных 3D моделей фигуры

человека и внешней формы одежды позволяет определить границу перехода от зоны опорного давления к зоне касательного давления, благодаря чему выявить расположение конструктивных членений, отражающих корректную внешнюю форму одежды (рис. 5.12).

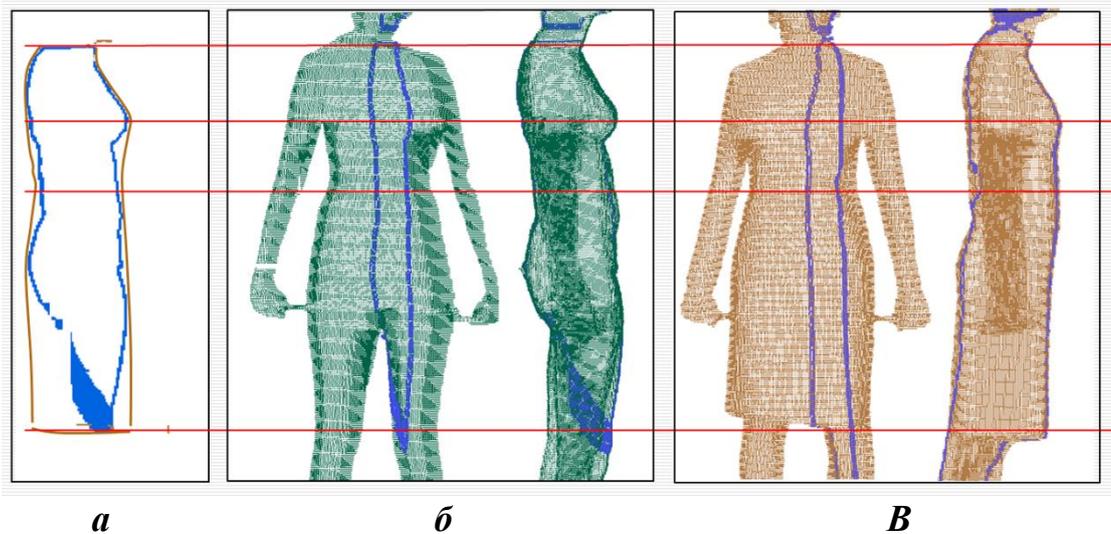


Рисунок 5.12 – Схема анализа виртуальных 3D моделей:

***a* – совмещение вертикальных сечений фигуры и внешней формы одежды; *б* – фигуры без одежды; *в* – внешней формы одежды**

Проведенный анализ графического распределения пространственных зазоров по участкам конструкции на выделенных антропометрических уровнях обхватов груди, талии и бедер позволил установить следующие закономерности (рис. 5.13):

- при ориентации конструктивных членений на выступающие точки опорной поверхности во всех исследуемых положениях членений ткань более равномерно огибает поверхность фигуры;
- величина отклонения от базового положения линий конструктивных членений не должна превышать 45 мм, иначе следует ввести дополнительные членения конструкции прилегающего или полуприлегающего силуэта.

Возможность получения широкого диапазона информации о внешней форме одежды позволяет рекомендовать разработанные системы 3D сканирования в качестве инструментария для сбора данных об особенностях поведения различных материалов при реализации различных конструктивных решений одежды.

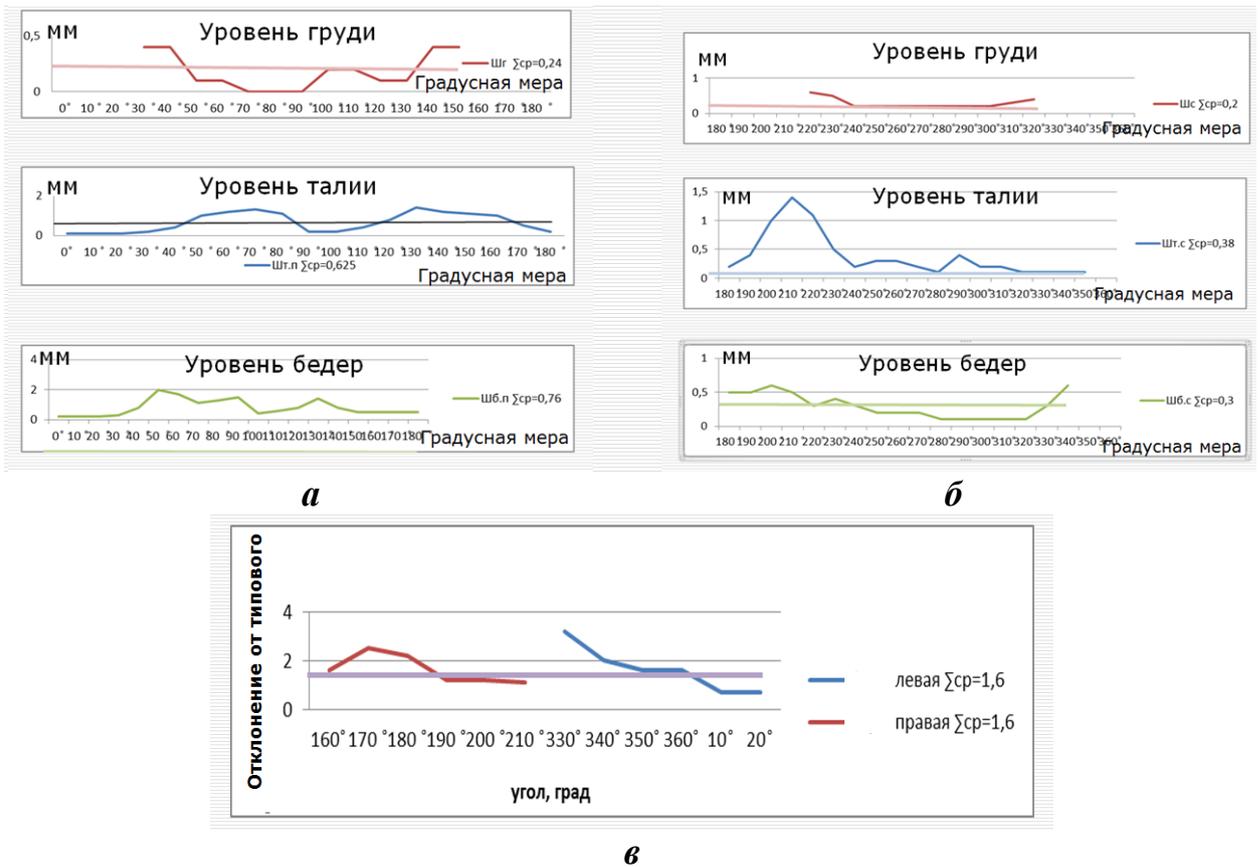


Рисунок 5.13 – Графики распределения проекционных зазоров между поверхностью фигуры и внешней формой одежды при изменении положений линий членений: а - полочка; б - спинка ; в - пройма

Систематизация данной информации лежит в основе разработки базы знаний для автоматизированного 3D проектирования одежды с учётом особенностей поведения материалов на фигурах различного телосложения.

5.3. Разработка метода объективной оценки внешней формы и качества посадки корсетно-бельевых изделий с помощью 3D сканирования

При проектировании корсетных изделий одной из важнейших задач является обеспечение как высоких эргономических характеристик, так и заданной коррекции внешней формы груди до восприятия ее потребителями как гармоничной или «эстетически совершенной». Зарубежные исследования (Nievergelt J.K., 1999) показывают, что обеспечение «эстетически приемлемой» формы грудных желез при использовании подходящих бюстгалтеров позитивно влияет на ощущение уверенности и чувства собственного достоинства женщин [417]. При этом, женщины готовы

даже мириться с неудобством, причиняемым нижним бельём, ради достижения близкой к «эстетически совершенной» форме фигуры. Так, в результате 3D сканирования тайваньскими исследователями (*Chen C., et al., 2010*) фигур 103 студенток, считавших, что форма их фигуры в бюстгальтере близка к «идеальной», было установлено, что у многих из них (более 70%) бюстгальтеры были подобраны некорректно, вызывали дискомфорт и иногда боль при их носке [360]. Это свидетельствует о целесообразности разработки способа объективной оценки соответствия проектируемой внешней формы корсетного изделия эстетическим ожиданиям потребителей при обеспечении хороших эргономических свойств белья.

Корсетные изделия обладают способностью существенно изменять форму и размер груди или талии, поэтому конструктивное формообразование бюстгалтеров может как создать впечатление об эстетическом совершенстве женской груди, так и ухудшить его. Научными исследованиями, проведенными в Гонконге (*Rong Z., et al., 2007*) подтверждено, что контактные способы определения размеров корсетно-бельевых изделий являются весьма неточными [432]. Наибольшие трудности при выборе и покупке бюстгалтеров испытывают женщины с большой грудью. Результаты южно-африканского исследования (*Pandarum R., et al., 2011*) подтвердили, что женщины с грудью, имеющей размер больше среднего, испытывают значительные трудности с выбором подходящих бюстгалтеров и проблемы от их неудобства при носке, а также не удовлетворены формой, которую придает белье их фигурам [421]. Высокий уровень неудовлетворенности покупателей посадкой и удобством корсетных изделий свидетельствует о необходимости разработки объективных способов оценки качества посадки проектируемых корсетно-бельевых изделий, способствующих увеличению спроса на продукцию и соответственно эффективности швейного производства.

На основе антропоморфологических параметров, описывающих «идеальную» форму женской груди, можно определить количественные

критерии оценки внешней формы грудных желез, одетых в бюстгальтер, и подойти к вопросу оценки качества посадки проектируемых корсетных изделий с позиции обеспечения соответствия внешней формы изделий представлениям об «эстетически совершенной» форме груди отечественных покупателей [268].

Для оценки качества посадки корсетных изделий важно понимать, что удовлетворенность потребителей зависит в первую очередь от ожидаемой трансформации внешней формы грудных желез в сторону увеличения, уменьшения или приподнятости. Анализ зарубежной практики проектирования корсетно-бельевых изделий позволил сформулировать ряд обязательных условий, обуславливающих приемлемое качество посадки, которым должны соответствовать примеряемые корсетно-бельевые изделия:

- При взгляде сбоку линия низа бюстгальтера должна быть горизонтальной, при этом плотно, но комфортно облегать тело.
- Каждая «косточка» чашек, расположенная спереди, должна размещаться непосредственно на грудной клетке вдоль субмаммарной складки, но не на самой грудной железе, не врезаться и не колоть тело человека.
- Грудь должна быть полностью погружена в чашки изделия и иметь плавную поверхность над верхним краем чашек.
- Вершина грудной железы должна располагаться по центру чашки.
- Грудь не должна выгибаться дугой над верхней линией чашек, даже у моделей с очень низким вырезом.
- На спине бюстгальтер не должен съезжать вверх, а грудные железы должны выглядеть параллельными полу.
- Грудь должна поддерживаться преимущественно за счет прилегания изделия к грудной клетке, а не за счет бретелей.
- Женщина в корсетном изделии должна легко дышать, при движении изделие не должно перемещаться вокруг тела.

В ходе экспериментального исследования трансформации внешней формы грудных желез за счет конструктивных членений чашек изделия изучалась взаимосвязь между эргономическими характеристиками изделия и конструктивными особенностями бюстгалтеров. Для этого был проведен контроль линейных размеров 19 различных моделей бюстгалтеров размера 85D, как в свободном состоянии, так и одетых на женские фигуры путем выделения 14 участков для измерений, лежащих на линиях, проходящих через наивысшую точку грудной железы (рис. 5.14).

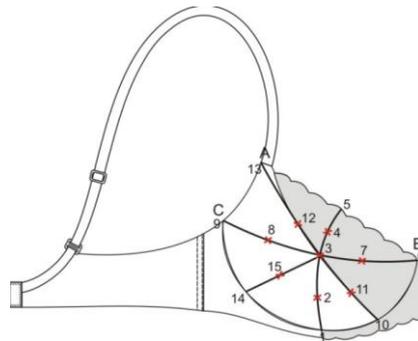


Рисунок 5.14 – Схема измерений выделенных участков бюстгалтеров

Анализ успешности корректировки внешней формы грудных желез проводился с помощью 3D сканирования женской фигуры без бюстгалтера и в бюстгалтерах различных конструкций. Растровое отображение формы грудной железы в различных моделях изделий и их совмещенные абрисы представлены на рисунке 5.15.

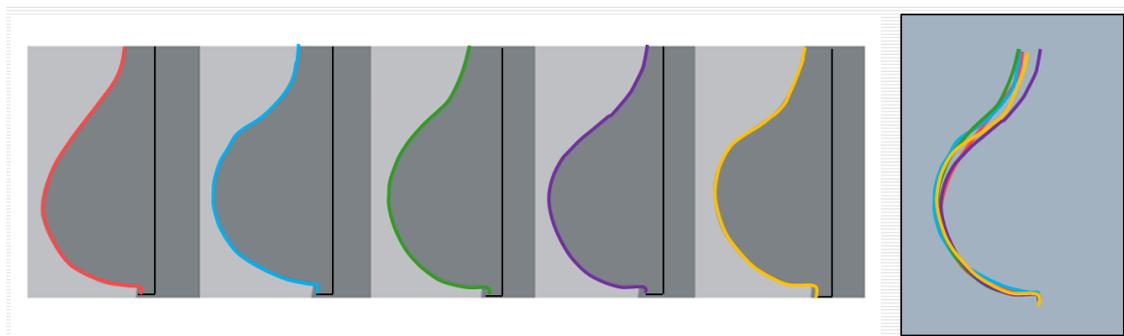


Рисунок 5.15 - Растровое отображение формы грудных желез размера 85D в бюстгалтерах различных моделей

Были исследованы бюстгалтеры с различным видом чашки: с мягкой - 6 шт., с частично поролоновой - 4 шт., с формованной - 9 шт., изготовленных из материалов следующего сырьевого состава: полиамид - 80%, эластан - 14%, хлопок - 6%, подкладка всех изделий состояла из 100%

хлопка. Результаты исследования показали влияние конструктивного строения бюстгалтера на изменение формы грудных желез и позволили выявить оптимальное соответствие между конкретными конструктивными решениями изделий и формами грудных желез для достижения максимальной эстетической привлекательности одетой груди. На основании проведённых исследований разработаны рекомендации для формирования технического задания на модели, предназначенные для определенных форм и размеров груди, способствующие приближению формы женской груди, одетой в бюстгалтер, к «эстетически совершенной» [268]. Рациональный выбор конструктивных решений корсетно-бельевых изделий, учитывающий особенности строения и расположения грудных желез потребителей, способствует повышению комфортности, функциональности и качества посадки изделий на фигуре.

Разработанная система 3D сканирования [121, 523] может выступать эффективным инструментарием для:

- ❖ получения исходной информации о внешней форме грудных желез;
- ❖ оценки эргономического соответствия корсетных изделий заданным женским фигурам,
- ❖ оценки качества посадки корсетно-бельевых изделий как с позиции отсутствия конструктивных дефектов, так и достижения «эстетического совершенства» внешней формы грудных желез.

Соответствие внешней формы готового образца изделия, одетого на заданную фигуру, замыслу дизайнера, было проверено с помощью системы 3D сканирования и моделей, из числа планируемых к производству ООО «РозТех» для типовой женской фигуры 178-100-104 с размером груди 80E [268]. Для примерки промышленных образцов, изготовленных в условиях массового производства, была выбрана индивидуальная фигура соответствующего размера (рис. 5.16).



Рисунок 5.16 - Внешний вид корсетных изделий (базовый размер 80E)

Разработанная система 3D сканирования позволяет сравнивать внешнюю форму виртуальных 3D моделей женских фигур без одежды и в проектируемых корсетных изделиях, благодаря анализу выделенных сечений в заданных плоскостях, полученных после совмещения виртуальных фигур, с точностью $\pm 0,1$ см.

Для оценки качества посадки проектируемых образцов корсетных изделий выделен ряд характеристик, определяющих требования для формирования «эстетической приемлемости» внешней формы одетой груди:

- 1) высота подъема сосковой точки грудных желез;
- 2) эстетическая гармоничность линий контура сечений одетых грудных;
- 3) относительное расположение центров груди;
- 4) горизонтальность линии низа стана бюстгальтера;
- 5) гладкость боковых контуров фигуры на виде сзади и сбоку;
- 6) симметричность переднего контура груди в горизонтальном сечении, проведённом через выступающие точки грудных желез.

Перечень и способ измерений, позволяющих оценить степень приближения к «идеальной» внешней форме женской груди, отражены на рисунке 5.17. Трансформацию внешней формы грудных желез до «эстетически приемлемой» позволяет оценить угол наклона верхней части грудной железы в наиболее выступающей точке относительно горизонтали ($\alpha_{\text{мод}} \alpha_{\text{исх}}$); высоту подъема грудных желез оценивают как разность высоты сосковой точки в бюстгальтере и в естественном положении ($\Delta \text{Вс.т.}$); величины проекционных зазоров на уровне обхвата груди четвертого спереди ($\Delta \text{ПЗ п4}$), сзади ($\Delta \text{ПЗ з4}$) и сбоку ($\Delta \text{ПЗ б4}$) позволяют оценить гладкость боковых контуров фигуры на виде сзади и сбоку.

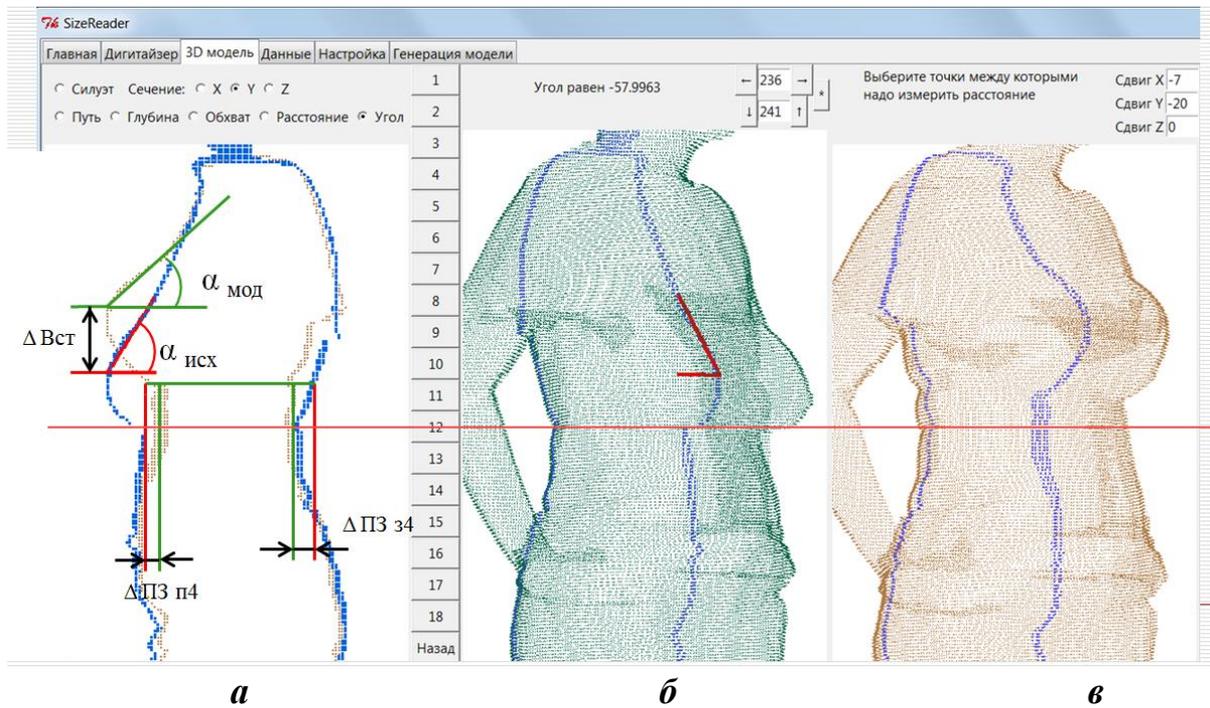


Рисунок 5.17 - Оценка внешней формы и качества посадки корсетно-бельевых изделий: а - контрольные измерения на совмещённых сечениях обнажённой фигуры и фигуры в бюстгальтере; б - 3D модель обнажённой фигуры; в - 3D модель фигуры в бюстгальтере

С помощью системы 3D сканирования построены виртуальные 3D модели женской фигуры без одежды и в бюстгальтере. На совмещённых сечениях «вида сбоку» обеих виртуальных фигур можно видеть существенный подъем грудных желез и трансформацию их внешней формы до «эстетически приемлемой» (рис. 5.18, а). В соответствии с требованиями к качеству посадки корсетно-бельевых изделий, грудь потребителя полностью погружена в чашки проектируемого изделия и не выступает над их верхним краем (рис. 5.18, в); вершины грудных желез располагаются по центру чашек; «косточки» чашек спереди плотно прилегают к грудной клетке и не смещены на поверхность грудных желез; при взгляде сбоку линия низа бюстгальтера выглядит горизонтальной (рис. 5.18, з); на спине бюстгальтер не съезжает вверх; грудь поддерживается преимущественно за счет облегания вокруг грудной клетки, а не за счет бретелей; испытуемой девушкой отмечена легкость дыхания и движений в примеряемых образцах бюстгальтеров.

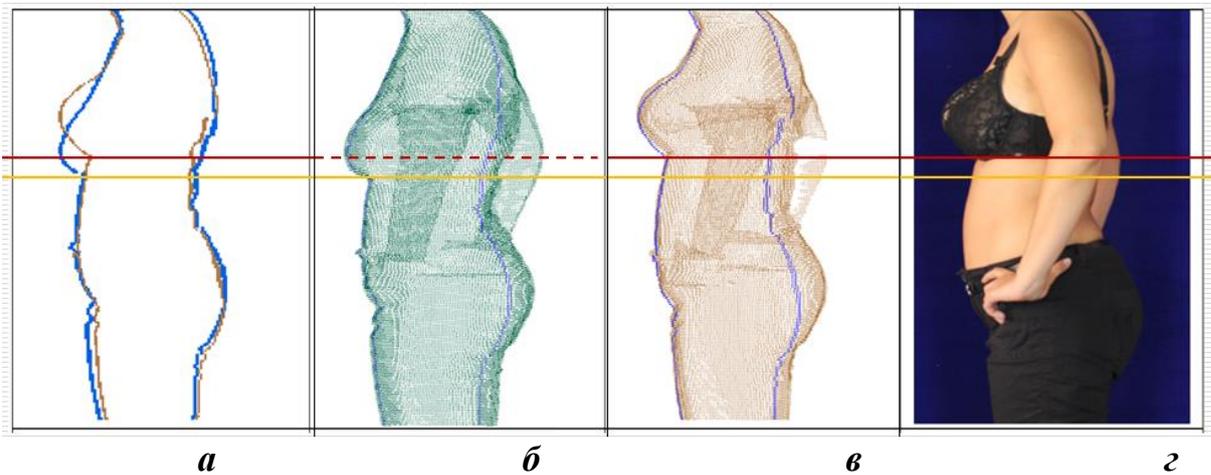


Рисунок 5.18 - Оценка качества посадки корсетного изделия:
а - совмещенные сечения 3D моделей обнаженной фигуры и фигуры в бюстгальтере; б - 3D модель обнаженной фигуры; в - 3D модель фигуры в бюстгальтере; г - внешний вид фигуры в бюстгальтере

Совмещение горизонтальных сечений виртуальных моделей женской фигуры, выполненных на уровне «обхвата груди четвёртого» под грудью, подтверждает расположение грудных желез, одетых в проектируемый бюстгальтер, выше субмаммарной складки, а также соблюдение горизонтальности линии низа стана бюстгальтера (рис. 5.19, а). Конфигурация боковых частей торса женской фигуры, одетой в бюстгальтер, отражает гладкость линии бокового контура и уменьшение общей ширины сечения, что свидетельствует об эстетическом восприятии увеличения стройности фигуры в области под грудью. На рисунке 5.19 (а) синей линией показано сечение виртуальной фигуры без одежды с естественным расположением грудных желез, а коричневой линией - сечение виртуальной фигуры в бюстгальтере.

Совмещение горизонтальных сечений виртуальных женских фигур, проходящих через сосковые точки, иллюстрирует направленность грудных желез вперед и дополнительно подтверждает, что они не выступают за боковые контуры тела, что также делает женскую фигуру стройнее (рис. 5.20, а). Можно отметить, четкое положение центров груди (рис. 5.20, а, коричневая линия) и успешную коррекцию асимметрии грудных желез у исследуемого субъекта при использовании исследуемого бюстгальтера (синяя линия).

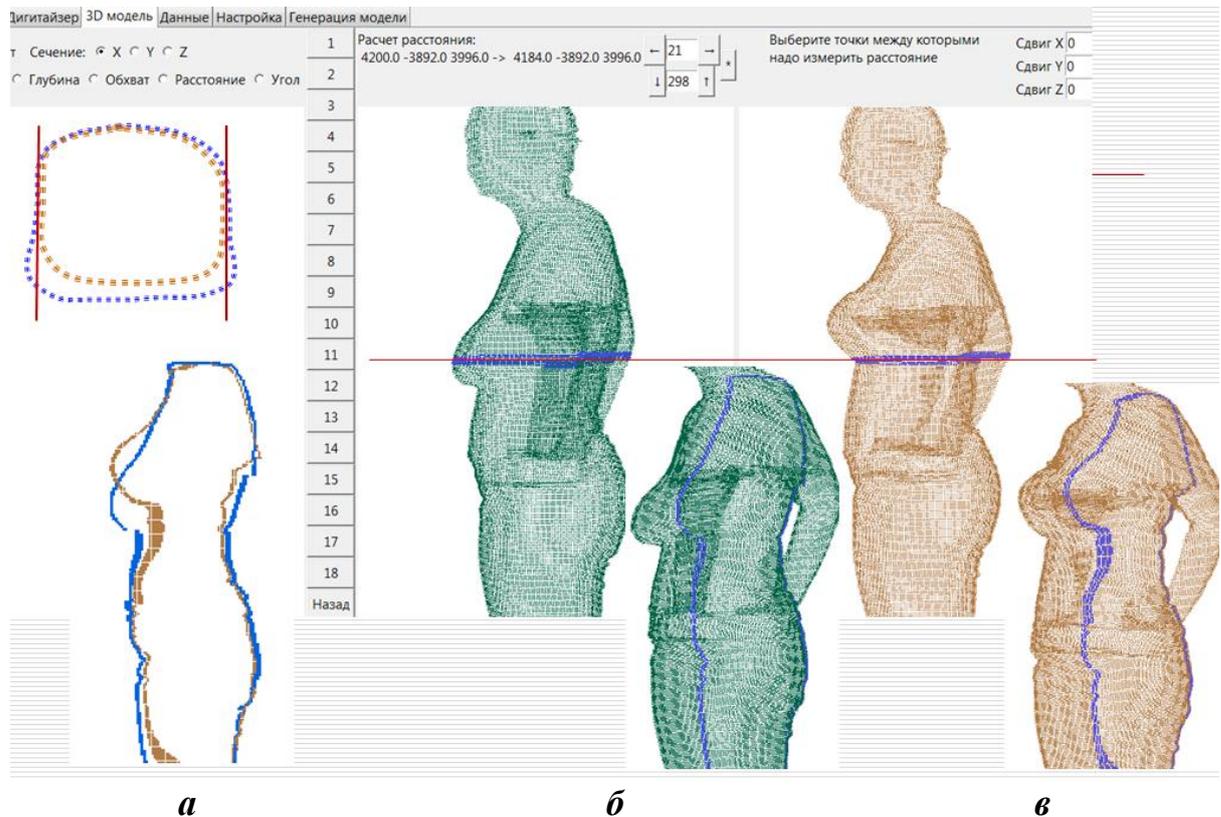


Рисунок 5.19 - Оценка качества посадки корсетного изделия:
а - совмещенные сечения виртуальных моделей фигуры без белья и в бюстгальтере; б - 3D модель обнаженной фигуры; в - 3D модель фигуры в бюстгальтере

Объективность оценки внешней формы одетой женской фигуры обеспечивается благодаря возможности определения и сравнения любых задаваемых геометрических параметров, характеризующих сложную поверхность проектируемой одежды на человеке. Сравнительный анализ параметров внешней формы проектируемых корсетных изделий, одетых на женскую фигуру соответствующего размера, позволил ранжировать проектируемые изделия по качеству посадки на фигуру и сделать обоснованный выбор моделей исследуемого размера для запуска в производство в соответствии с параметрами прогнозируемого изменения внешней формы груди, горизонтальности линии низа стана, расположения центров груди выше или на типовом уровне с целью формирования «эстетически гармоничного» женского образа.

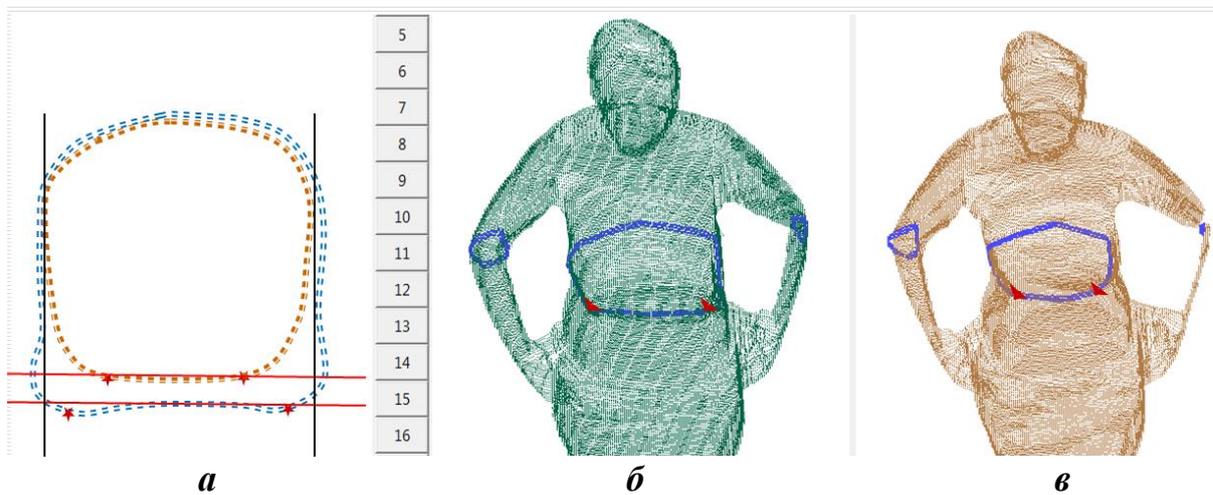


Рисунок 5.20 - Оценка качества посадки корсетного изделия:
а- совмещенные горизонтальные сечения через сосковые точки
виртуальных фигур без одежды и в бюстгальтере; б - 3D модель
исследуемой обнаженной фигуры; в - 3D модель фигуры в бюстгальтере

Таким образом, применение систем 3D сканирования при проектировании корсетных изделий позволяет получить достоверную информацию об особенностях строения фигур потребителей, создавать адекватные виртуальные модели готовых изделий, чтобы объективно оценивать полученную внешнюю форму образцов. В случае неудовлетворительного качества посадки примеряемых образцов конструктор оперативно получает количественную информацию о характере конструктивных дефектов или о необходимости изменить степень или характер корректирующего воздействия на естественную внешнюю форму грудных желез потребителей. Если образцы для примерки отшиваются на удаленном производстве, то 3D сканирование внешней формы проектируемых изделий позволит снизить логистические издержки на время и стоимость их транспортировки, принимать оперативные решения по замене конструктивных решений или используемых материалов, ускорить сменяемость новых моделей при обеспечении высокого качества посадки корсетных изделий на женской фигуре и эстетически гармоничной коррекции внешней формы женской груди.

5.4. Разработка метода оценки проектных решений одежды по соответствию техническому эскизу и техническому заданию

В основе проведения объективной количественной оценки степени соответствия полученной внешней формы готового образца проектируемого изделия заданной модели изделия, представленной в эскизе дизайнера или техническом эскизе в соответствии с техническим заданием, лежит разработка критериев оценки качества проектных решений одежды. Для разработки метода оценки качества проектного решения и соответствия внешней формы одежды проектируемым характеристикам необходимо разработать или ввести количественные критерии оценки, позволяющие достоверно оценить предложенные конструктивно-технологические решения, полученные в традиционном или автоматизированном режиме.

Оценка качества посадки одежды производится на фигуре человека или манекене соответствующего размера, поэтому в качестве исходной информации важно иметь виртуальные 3D модели фигуры человека или манекена, которые могут быть получены с помощью 3D сканирования. Экспериментальное исследование по разработке критериев оценки качества проектных решений опиралось на изучение взаимодействия следующих объектов:

- 1) статичный типовой манекен и статичный модифицированный манекен;
- 2) статичный типовой манекен и одежда для модифицированного манекена;
- 3) динамичная фигура человека и одежда.

На первом этапе исследования в качестве объектов для примерки проектируемых изделий выбраны статичные манекены типовой фигуры и модифицированный в соответствии с техническим заданием (ТЗ) на определенную модель путем наращивания слоёв для имитации внутренней формы проектируемой одежды. Выбранный статичный манекен соответствовал типовой фигуре 164-96-100, а его модификация была осуществлена в соответствии с ТЗ, параметры которого представлены в

таблице 5.4, при этом заданные конструктивные прибавки к обхватам груди, талии и бедер составили 6 см, к обхвату шеи – 3 см, на высоту плечевой накладки – 1 см.

Таблица 5.4 - Техническое задание на модификацию манекена

Антропометрический уровень	Усл. обозн. объемной прибавки	Величина прибавки, см	Антропометрический уровень	Усл. обозн. объемной прибавки	Величина прибавки, см
<i>шеи</i>	Пш	3	<i>бедер</i>	Пб	6
<i>груди</i>	Пг3	6	<i>плеч</i>	Пв.п.н.	1
<i>тали</i>	Пт	6			

Нанесение дополнительных слоёв на поверхность манекена осуществлялось исходя из заданной величины конструктивной прибавки на свободу облегания на основных антропометрических уровнях, для чего на манекене были отмечены горизонтальные линии на уровнях груди, талии и бедер. Затем производился расчёт проекционных зазоров между внешней формой манекена и внутренней формой одежды, образовавшихся при распределении прибавки на свободу облегания по всей поверхности 3D модели.

Для описания поверхности манекена использовалась кусочно-дуговая аппроксимация, предполагающая разделение криволинейного контура на участки, каждый из которых аппроксимировали дугой окружности с определённым радиусом. Необходимым условием рассматриваемой аппроксимации является сопряжение полученных дуг, то есть наличие общей касательной на границе участков в точках пересечения от одной окружности к другой. Искомой величиной является приращение радиуса между дугами, соответствующими поверхности манекена и модифицированного манекена. Например, для расчёта проектируемого сечения по линии обхвата груди третьего периметр сечения манекена делится точками *A*, *B*, *C*, *D* на участки, соответствующие ширине спинки, проймы и полочки (рис. 5.21).

Участок *AB* аппроксимируется двумя дугами окружности l_1 и l_2 с радиусами R_1 и R_2 и соответствующими им углами φ_1 и φ_2 . , тогда длину дуги *AB* можно представить как:

$$l_1 + l_2 = \pi R_1 \varphi_1 / 180^\circ + \pi R_2 \varphi_2 / 180^\circ \quad (5.2)$$

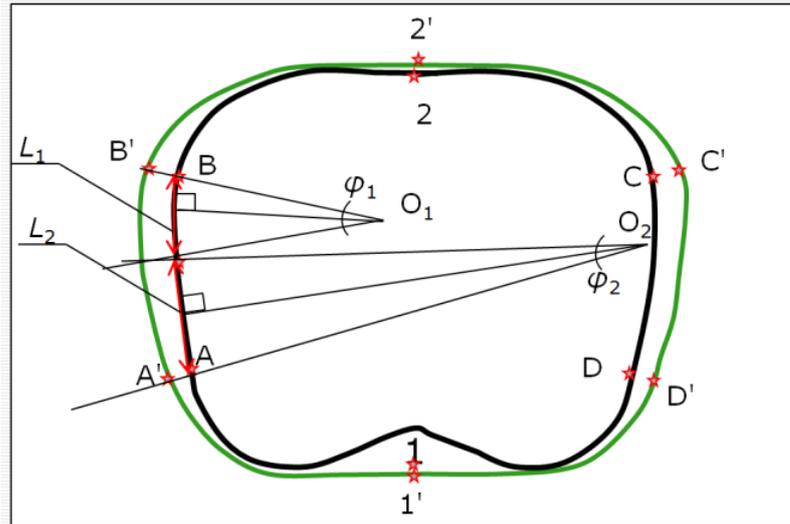


Рисунок 5.21 – Аппроксимация горизонтального сечения модифицированного манекена по линии груди

А длину дуги модифицированного манекена A_1B_1 с учетом прибавки на свободу облегания в области проймы:

$$l_1 + l_2 + \Pi = \pi(R_1 + x) \varphi_1 / 180^\circ + \pi(R_2 + x) \varphi_2 / 180^\circ, \quad (5.3)$$

где Π – прибавка на свободу облегания на участке проймы;

x – приращение радиуса.

Искомая величина приращения x из формулы (5.3):

$$x = (l_1 + l_2 + \Pi) 180 / \pi(\varphi_1 + \varphi_2) - (R_1 \varphi_1 + R_2 \varphi_2) / (\varphi_1 + \varphi_2) \quad (5.4)$$

На продолжении радиусов O_1B и O_2A отмечаются точки B' и A' , где $BB' = AA' = x$. По аналогии отмечаются симметричные точки C' и D' . Участок выше линии груди на полочке и спинке является опорной поверхностью, поэтому величины отрезков $1\ 1'$ и $2\ 2'$ отражают естественный зазор, возникающий при сглаживании материалом поверхности манекена, и принимаются равными 2 мм. Точки $A', B', 1', D', C', 2'$ соединяются плавной линией. Аналогичным способом определяются горизонтальные сечения по линиям талии и бедер.

Модифицированный манекен изготавливался скульптурным методом с первоначальной установкой маячков уровней приращения и последующего наращивания слоёв пластилина. Исходный и модифицированный манекены представлены на рисунке 5.22 (а, б) [219].

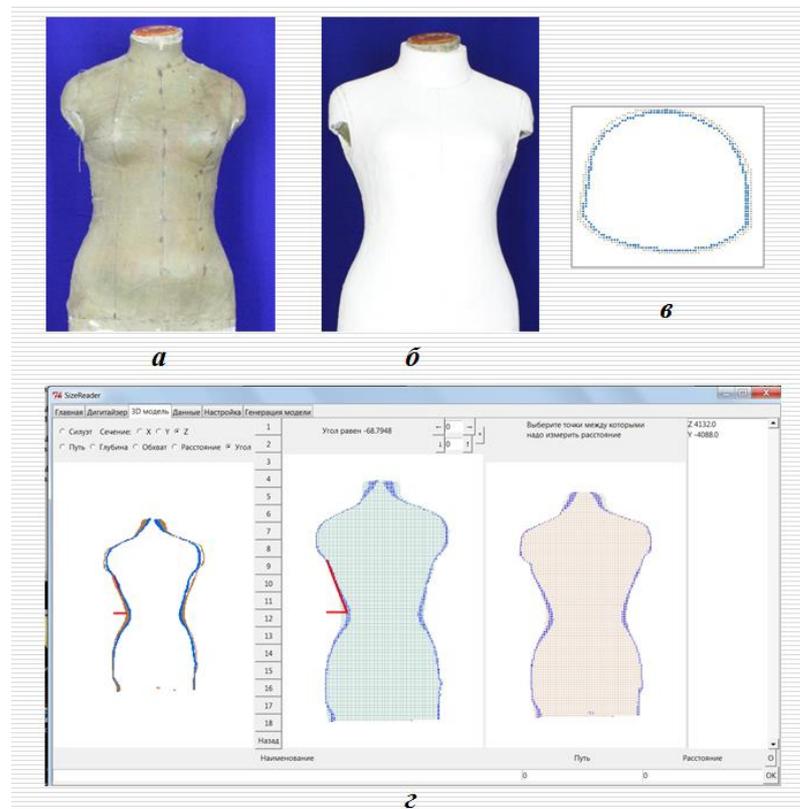


Рисунок 5.22 – Манекен: а - исходной формы; б – модифицированный; в – горизонтальные сечения по линии талии; г – фронтальные сечения

С помощью системы 3D сканирования была оцифрована поверхность исходного и модифицированного манекена, получены виртуальные 3D модели отсканированных объектов и сопоставлены между собой. С помощью разработанного программного обеспечения системы 3D сканирования осуществлено совмещение соответствующих вертикальных и горизонтальных сечений по антропометрическим уровням и графически выделен слой материала, нанесенного на исходный манекен (рис. 5.22, в, г).

Программа измерений для проведения сравнительного анализа ряда размерных признаков приведена на рисунке 5.23. Измерения исходного и модифицированного манекенов проведены по 38-ми размерным признакам, в том числе девять длин, шесть обхватов, девять ширин, десять диаметров, четыре глубины и количественная угловая оценка силуэтных линий на виде спереди, сзади и сбоку. Все измерения на каждом уровне проводились по 20 раз, затем определялись среднеарифметические значения изучаемых размерных признаков. Полный перечень исследуемых размерных признаков и их значений приведён в таблицах Ж1, Ж2 Приложении Ж.

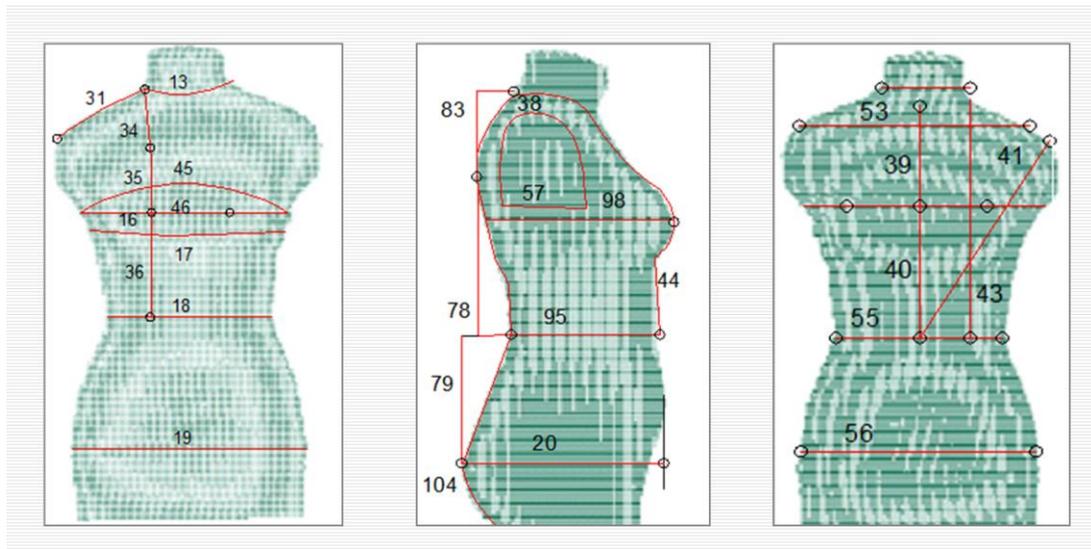


Рисунок 5.23 – Программа измерений манекенов

Дополнительно измерялись проекционные зазоры между совмещёнными контурами сечений исходного и модифицированного манекена на основных антропометрических уровнях (рис. 5.24), полученные результаты измерений проекционных зазоров приведены в *Приложении 3*, и частично отражены в таблице 5.5.

Для проведения оценки качества проектных решений выделены следующие количественные критерии: *характеристики, определенные техническим заданием*, а именно: проектируемые конструктивные прибавки на свободу облегания по основным антропометрическим уровням - шеи, груди, талии и бедер: Пош, Пг, Пб, Пт, величина проектируемой плечевой накладки.

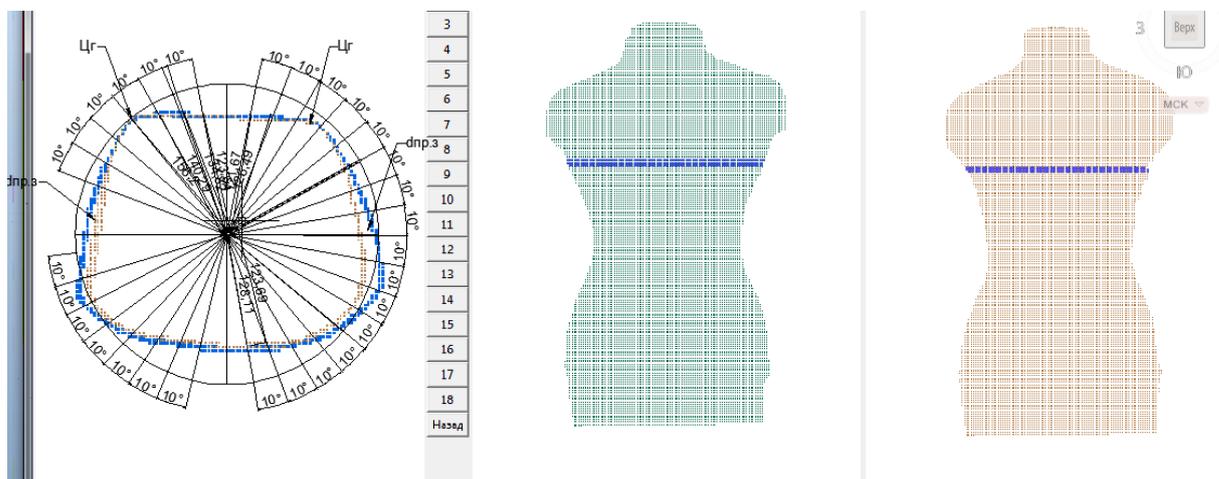


Рисунок 5.24 - Проекционные зазоры между контурами сечений исходного и модифицированного манекена

Таблица 5.5 - Значения проекционных зазоров между исходным и модифицированным манекенами в различных сечениях

Уровень	Изображение сечения и совмещаемых манекенов	РП	d2	d1	d2-d1=Δd
Горизонтальные членения					
точка основания шеи		ПЗд	132	114	18
		Пд	133	109	24
Вертикальные членения в сагиттальной плоскости					
шейная точка сбоку		ПЗд1	125,5	106,27	19,23
		ПЗд2	218,5	178,13	40,37
		ПЗд3	253,68	229,55	24,13
Вертикальные членения во фронтальной плоскости					
		Пд1	340,11	345,23	5, 12
		Пд1	252,0,	254,4	2,2

В таблице 5.6 отражены величины конструктивных прибавок и сопоставление результатов измерений поверхности исходного и модифицированного манекена по основным антропометрическим уровням. Рассчитано отклонение измеренных характеристик от параметров, определенных техническим заданием. Анализ полученных данных показал, что максимальное отличие фактической конструктивной прибавки от заданной (-0,38 см) выявлено на уровне талии, а отклонение остальных характеристик от заданных параметров (ТЗ) не превысило величины 0,3 см, допускаемой ГОСТ [10] в качестве погрешности измерений в швейной промышленности.

Таблица 5.6 – Значения сопоставляемых размерных признаков

Номер размерного признака по ГОСТ	Исходный манекен, мм	Модифицированный манекен, мм	Величина П фактическая, мм	Техническое задание, мм	Отклонение от ТЗ, мм
13	375,87	405,67	29,806	30	-0,2
16	968,03	1029,2	61,16	60	1,16
18	740,35	796,47	56,116	60	-3,88
19	1007,9	1068,4	61,49	60	1,49

Второй этап экспериментальных исследований включал проверку соответствия внешней формы проектируемых женских жакетов из войлока антропометрическим параметрам фигуры и техническому эскизу путем введения количественных критериев оценки в рамках системы «Технический эскиз - Фигура - Изделие».

Базовая конструкция (БК) женских жакетов полуприлегающего силуэта (164-96-100) построена по методике МГУДТ (рис. 5.25), величины конструктивных прибавок определены по техническим эскизам изделий (рис. 5.26) в соответствии с известной методикой, разработанной Т.А. Черемисиной [211].

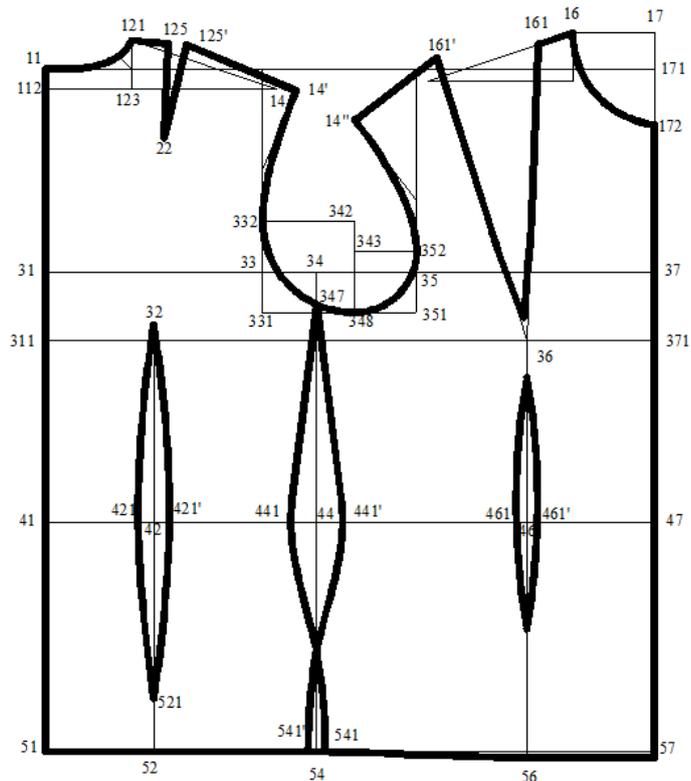


Рисунок 5.25– Базовая конструкция женского жакета

Конструкции женских жакетов разработаны с использованием САПР «*EleandrCAD*» с учетом следующего распределения конструктивной прибавки по линии груди: 15% к ширине переда, 70% к ширине проймы, 15% к ширине спинки.

Распределение конструктивных прибавок и членений проектируемых изделий, получаемых формованием из войлока, осуществлялось в соответствии с параметрами, характеризующими технические эскизы (ТЭ) моделей одежды, внешний вид которых иллюстрирует рисунок 5.27.

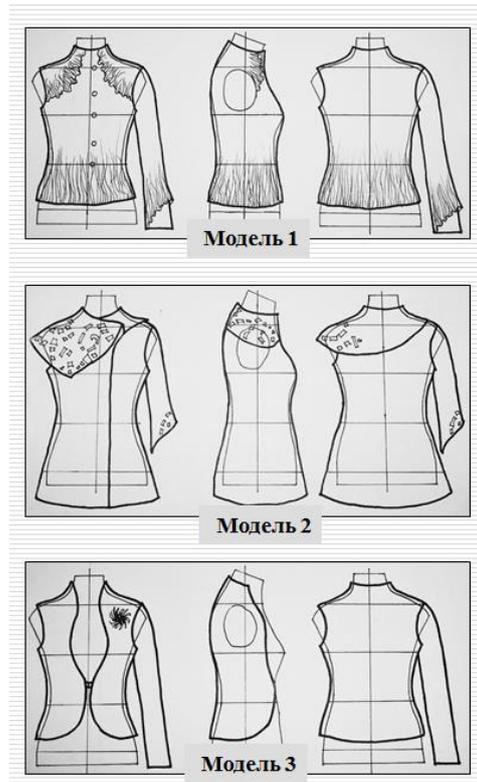


Рисунок 5.26 -Технические эскизы изучаемых моделей женских жакетов



Рисунок 5.27 – Исследуемые модели женских жакетов из войлока

В результате 3D сканирования манекенов и жакетов из войлока построены 3D модели фигуры и исследуемых изделий, выполнены сечения виртуальной 3D поверхности, отражающие боковые, переднюю и заднюю силуэтные линии, чтобы иметь возможность сопоставить их между собой и определить существующие зазоры между одеждой и поверхностью манекена благодаря совмещению соответствующих сечений друг с другом (рис. 5.28).

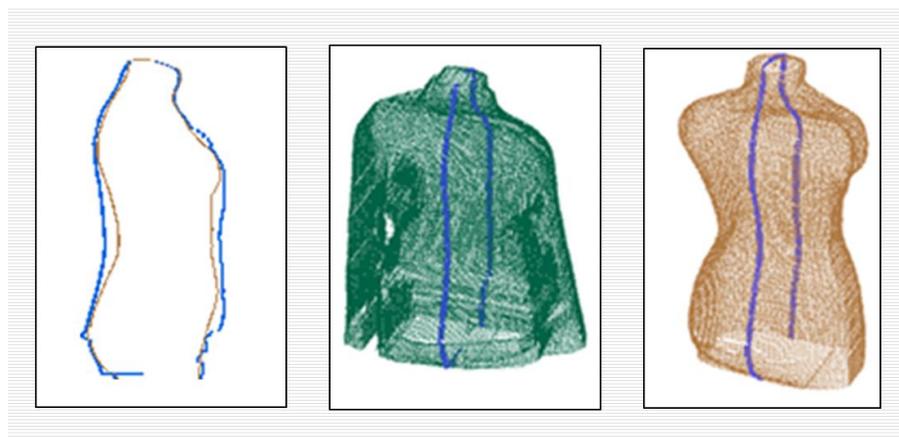


Рисунок 5.28 Вертикальное сечение 3D моделей фигуры и жакета

Для проведения оценки соответствия внешней формы готовых изделий техническому эскизу модели одежды введены *количественные критерии* оценки качества проектного решения двух типов: 1) характеристики, получаемые из технического задания (ТЗ) и 2) художественно-конструктивные характеристики зрительного подобия (рис. 5.29).

К *характеристикам, определяемым ТЗ*, отнесем величины конструктивных прибавок к обхватам шеи $P_{ош}$, груди $P_{г}$, талии $P_{т}$, бедер $P_{б}$; прибавку на толщину проектируемой плечевой накладки, проекционные зазоры на основных антропометрических уровнях.

К *характеристикам зрительного подобия* следует отнести количественные критерии, не зависящие от масштабирования или пропорционирования, такие как условные углы: 1) наклона боковой силуэтной линии от линии талии вниз (*У б.н.*) на виде спереди или сзади; 2) наклона боковой силуэтной линии от линии талии вверх (*У б.в.*) на виде спереди или сзади; 3) отклонения от вертикали передней силуэтной линии на

уровне груди ($У_{п.в.}$), 4) наклона задней силуэтной линии от линии талии вверх ($У_{з.в.}$); 5) наклона задней силуэтной линии от линии талии вниз ($У_{з.н.}$); 6) наклона плеча справа ($\alpha_{прав.}$); 7) наклона плеча слева ($\alpha_{лев.}$) (рис. 5.29).

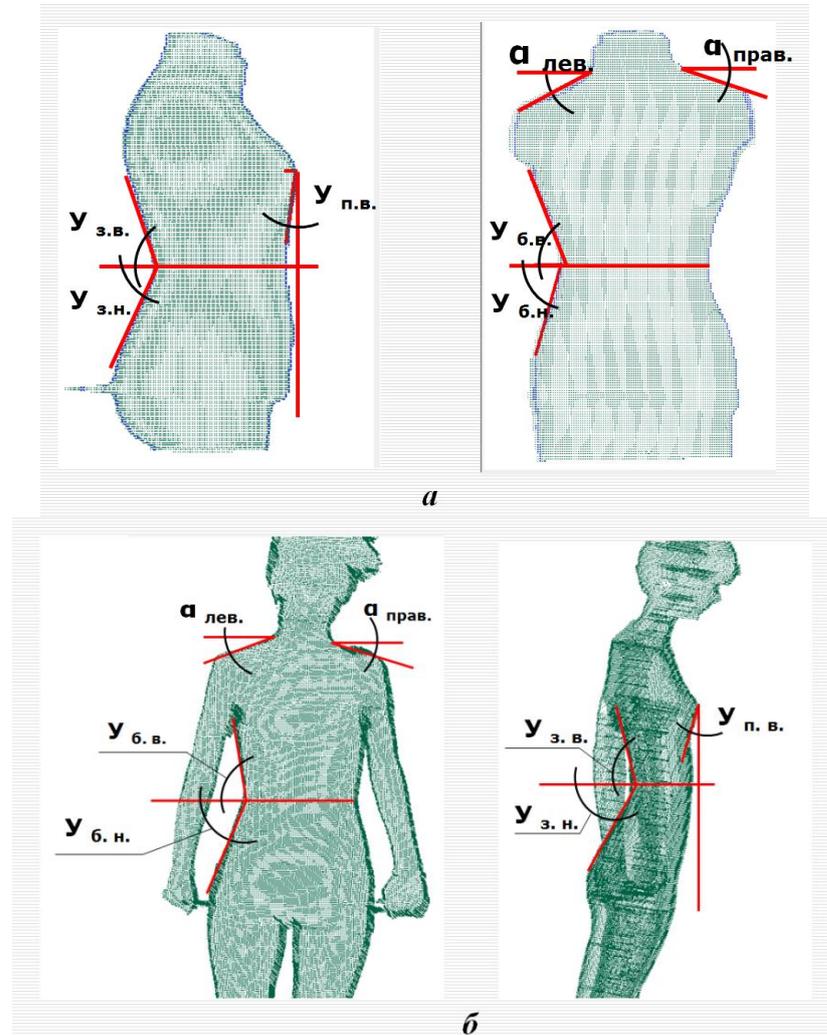


Рисунок 5.29 - Количественные критерии зрительного подобия внешней формы одежды эскизу: а - манекен; б - фигура человека

Для определения значений выбранных количественных критериев для оценки качества проектных решений выбранных моделей жакетов было проведено измерение 33 размерных признаков (среди них девять длин, шесть обхватов, пять ширин, десять диаметров, три глубины), каждого из которых не менее 20 раз, чтобы рассчитать средние значения этих параметров.

Идентичные характеристики, измеренные по сечениям 3D модели исследуемых изделий и по силуэту модели на техническом эскизе

проектируемого изделия, сравнивались между собой по величине и углам наклона соответствующих силуэтных линий одежды (рис. 5.30).

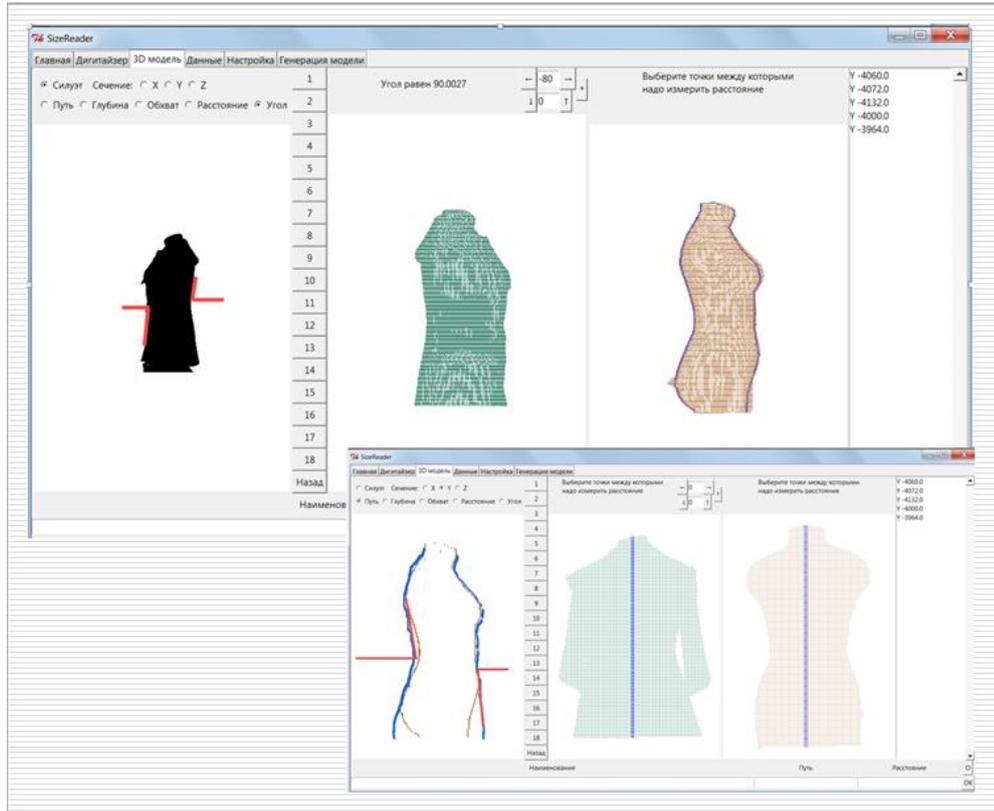


Рисунок 5.30 – Определение углов наклона силуэтных линий одежды

Дополнительно были определены величины проекционных зазоров на основных антропометрических уровнях груди, талии, бедер путем сопоставления соответствующих горизонтальных сечений 3D моделей манекена и внешней формы одежды (рис. 5.31 и Приложение 3).

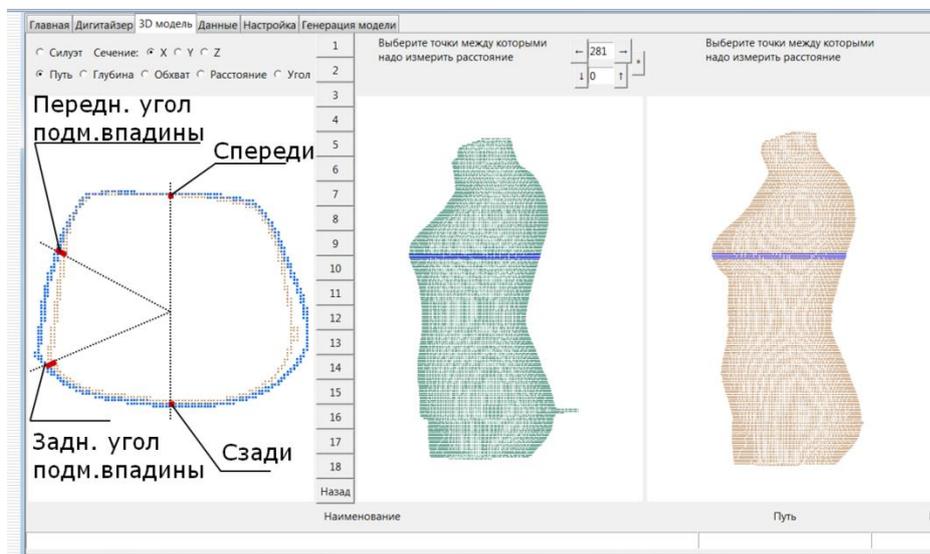


Рисунок 5.31 - Измерение проекционных зазоров по линии груди

Способ проведения измерений проекционных зазоров представлен на рисунках 5.31 и 5.32.

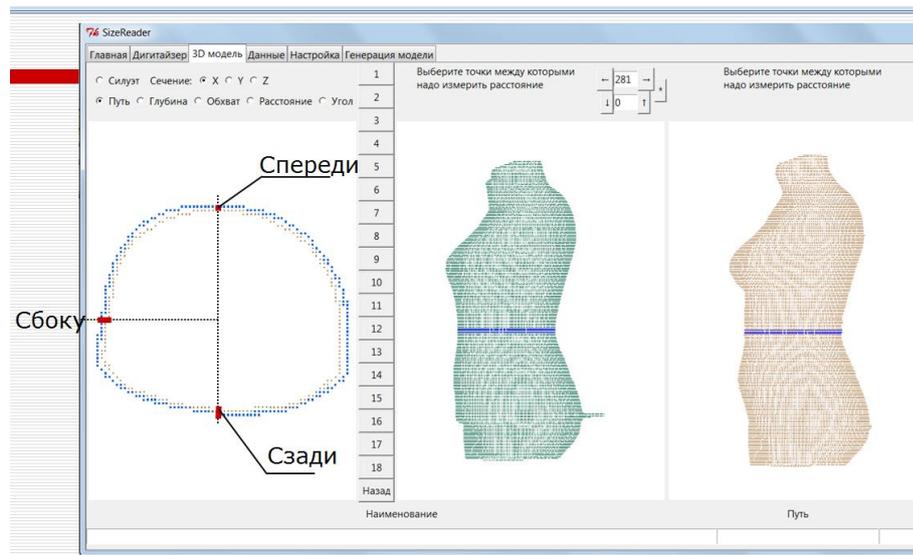


Рисунок 5.32 - Измерение проекционных зазоров по линии талии

В таблице 5.7 приведены значения проекционных прибавок по основным антропометрическим уровням исследуемых женских жакетов. Результаты проведенного исследования показывают, что с помощью системы 3D сканирования по характеру фактического распределения проекционных зазоров между материалом изделия и поверхностью фигуры человека можно четко определить границу перехода от зоны несущей опорной поверхности к зоне касательного давления, а также выявить распределение прибавок по участкам конструкции, то есть в каждой точке поверхности одежды количественно охарактеризовать степень соответствия полученного силуэтного решения силуэту, заданному техническим эскизом, а также соответствия внешней формы одежды фигуре человека.

Предлагаемые критерии позволяют провести количественную оценку зрительного подобия всех проектируемых и полученных конструктивных элементов изделия путем анализа информации о поверхности фигуры человека, эскизе и техническом задании для проектирования и конструкторско-технологического решения изделия в рамках системы «Технический эскиз – Фигура человека - Изделие».

Использование разработанной системы 3D сканирования для определения количественных критериев оценки соответствия внешней формы изготовленных женских изделий из войлока техническим эскизам показало высокую эффективность данного инструментария для оценки проектных решений и позволило дать рекомендации по возможному совершенствованию каждой из конструкций одежды.

Таблица 5.7 - Сводные значения исследуемых параметров

Обозначение проекционной прибавки	<i>Уровень груди</i>				
	Величина объемной прибавки				
	Образец №1 Пг = 6,0 см	Образец №2 Пг = 6,0 см	Образец №3 Пг = 6,0 см	ТЗ	Диапазон отклонения от ТЗ
Спереди	0,9	0,89	0,9	0,9	0-0,1
П.У.П.В.	1,0	0,97	0,99	1,0	0,0-0,03
З.У.П.В.	1,7	1,66	1,72	1,5	0,16-0,22
Сзади	1,1	1,1	1,15	1,0	0,1-0,15
Обозначение проекционной прибавки	<i>Уровень талии</i>				
	Величина объемной прибавки				
	Образец №1 Пт = 6 см	Образец №2 Пт = 6 см	Образец №3 Пт = 6см	ТЗ	Диапазон отклонения от ТЗ
спереди	0,3	0,35	0,32	0,4	0,05-0,1
сбоку	1,4	1,43	1,5	1,6	0,1-0,2
сзади	0,7	0,65	0,6	0,8	0,1-0,2
Обозначение проекционной прибавки	<i>Уровень бедер</i>				
	Величина объемной прибавки				
	Образец №1 Пб = 6 см	Образец №2 Пб = 6 см	Образец №3 Пб = 6,2 см	ТЗ	Диапазон отклонения от ТЗ
спереди	2,1	2,1	2,3	2,5	0,2-0,4
сбоку	2,3	2,4	2,4	2,5	0,2-,1
сзади	2,0	2,0	2,3	2,0	0,0-0,3

5.5. Оценка достоверности представления трехмерных моделей фигур и проектируемых изделий в САПР одежды

При автоматизированном 3D проектировании одежды важное значение приобретает достоверность виртуального представления 3D моделей фигур и одежды, тем более что автоматизированная примерка проектируемых изделий остается наименее проработанной частью САПР

одежды. Решению этой проблемы способствует применение технологии *3D* сканирования.

Корректное виртуальное представление типовых или индивидуальных фигур человека базируется на метрической и визуальной информации о форме, размерах и топологии их поверхности, которая с высокой точностью может быть получена с помощью системы *3D* сканирования (рис. 5.33).

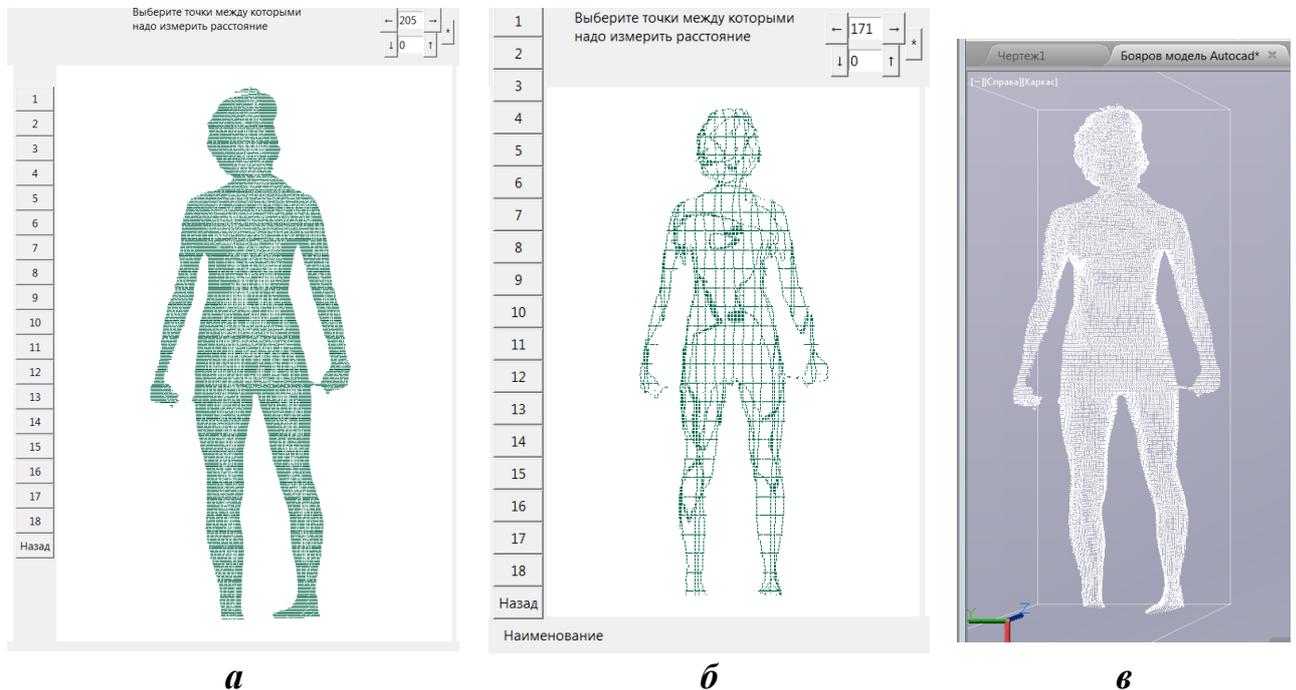


Рисунок 5.33 – 3D модель фигуры человека *a* - дискретная точечная модель, *б* - каркасная модель, *в* – экспорт модели в *AutoCAD*

Функционал разработанной системы *3D* сканирования позволяет получать точные конфигурации сечений, абрисов и рельефных линий фигуры (рис. 5.34). При этом автоматически происходит формирование данных в виде облака точек с однородными координатами, которые возможно сопоставлять между собой при изучении различных моделей в разработанной системе *3D* сканирования.

Поскольку поверхность фигуры исследуется как *3D* объект, построенный по результатам измерений с помощью *3D* сканирования, любой точке, принадлежащей поверхности фигуры, соответствуют три координаты – по осям Ox , Oy , Oz (см. рис. 3.27), что обуславливает возможность проведения сравнительного анализа и оценки соответствия друг другу

сложных трехмерных поверхностей: 3D моделей фигуры человека, проектируемого изделия и готового образца одежды.

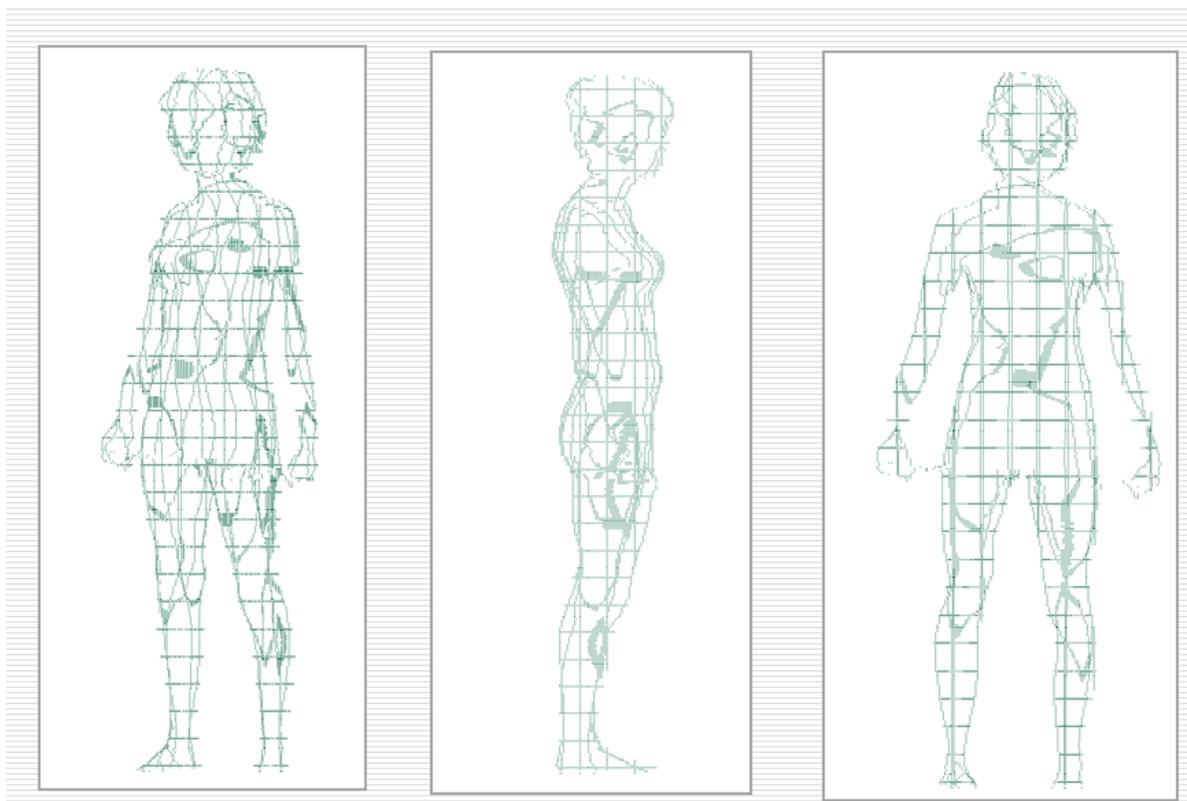


Рисунок 5.34 - Построение конфигураций абрисов и рельефных линий фигуры с помощью 3D сканирования

Для разработки способа оценки достоверности виртуального представления 3D моделей фигур человека в САПР проведено сравнительное исследование внешней формы антропометрических 3D моделей полученных по данным 3D сканирования и виртуальных манекенов, построенных в программе *EleandrCAD 3D*. Внешний вид 3D моделей женской фигуры, полученных моделированием в САПР и 3D сканированием, представлен на рисунке 5.35, а 3D моделей мужской фигуры - на рисунке 5.36.

Математическая оценка соответствия координат точек в облаке 3D антропометрической модели и в облаке виртуального 3D манекена показала, что исследуемые внешние формы 3D объектов соответствуют друг другу в пределах эстетического восприятия, а математически абрисы и проекции виртуального манекена и реальной фигуры совпадают в пределах допустимой погрешности до 2% [230]. Таким образом, математически

обоснованная оценка достоверности виртуального представления 3D моделей может осуществляться с помощью 3D сканирования.

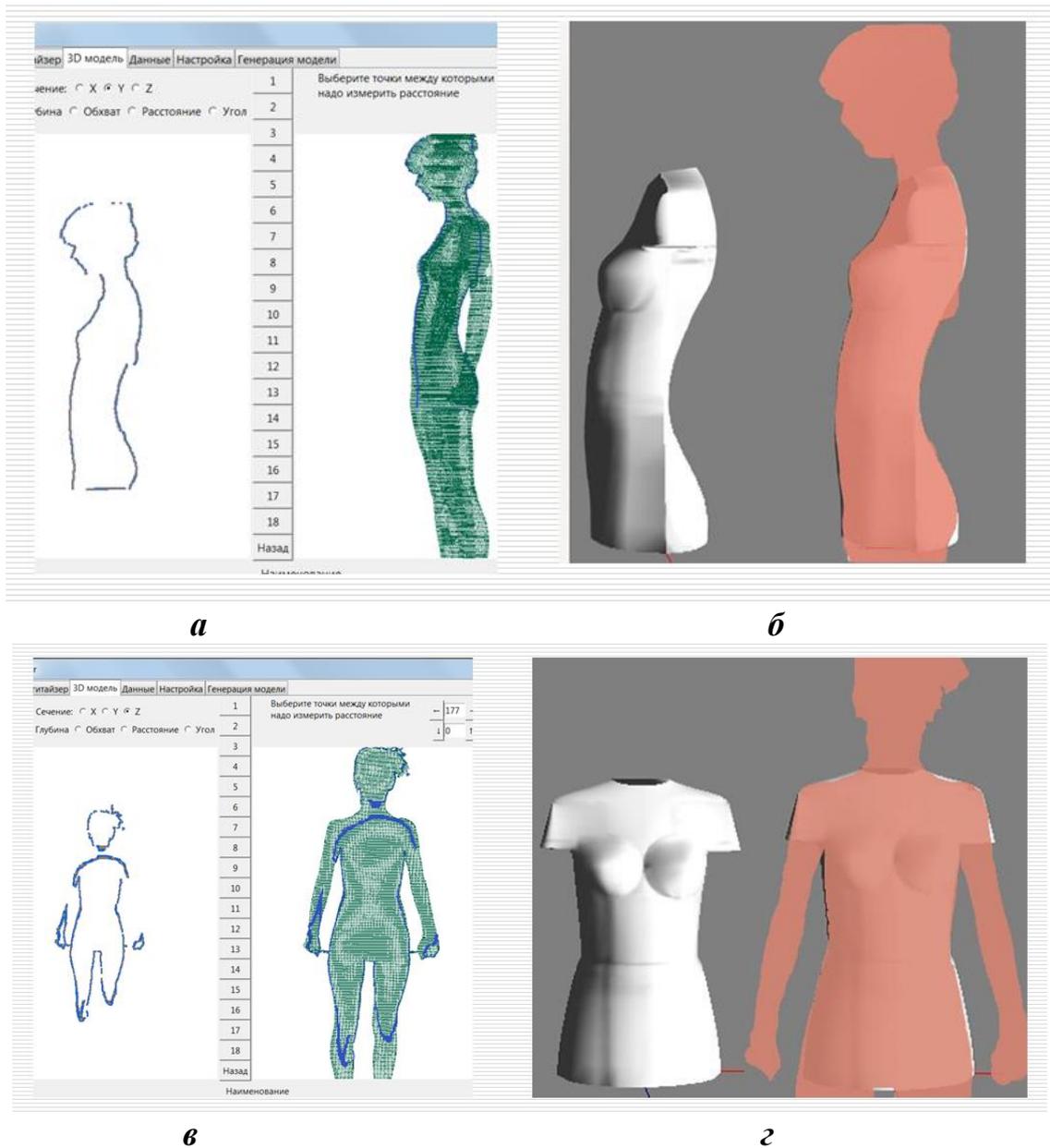


Рисунок 5.35 - 3D модель женской фигуры: а, б - вид сбоку; в - вид спереди, г - виртуальный манекен

На основе антропометрических параметров и виртуального 3D манекена фигуры человека в САПР первоначально разрабатывается 3D модель базовой внешней формы одежды, в том числе мужского пиджака или женского платья (рис. 5.37). Модель изделия проектируется путем формирования силуэта и длины изделия, на основе выявленных по техническому эскизу проекционных конструктивных прибавок,

конфигурации силуэтных линий и расположения узловых точек конструкции, что и определяет внешнюю форму швейного изделия.

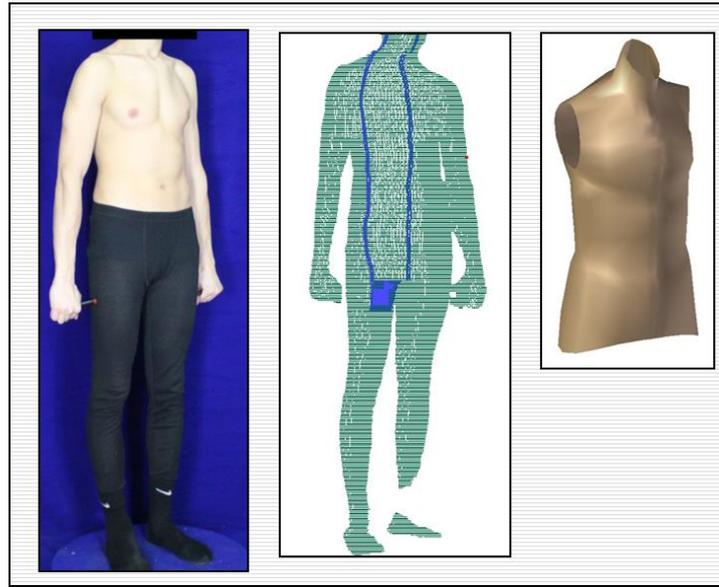
*a**б**в*

Рисунок 5.36 – Представление мужской фигуры: *a* - 2D фотография; *б* – модель, полученная 3D сканированием; *в* - виртуальный 3D манекен

Конструкторская документация для изготовления мужских пиджаков и женских платьев была разработана путем экспорта данных 3D моделирования изделий в САПР *EleandrCAD*.

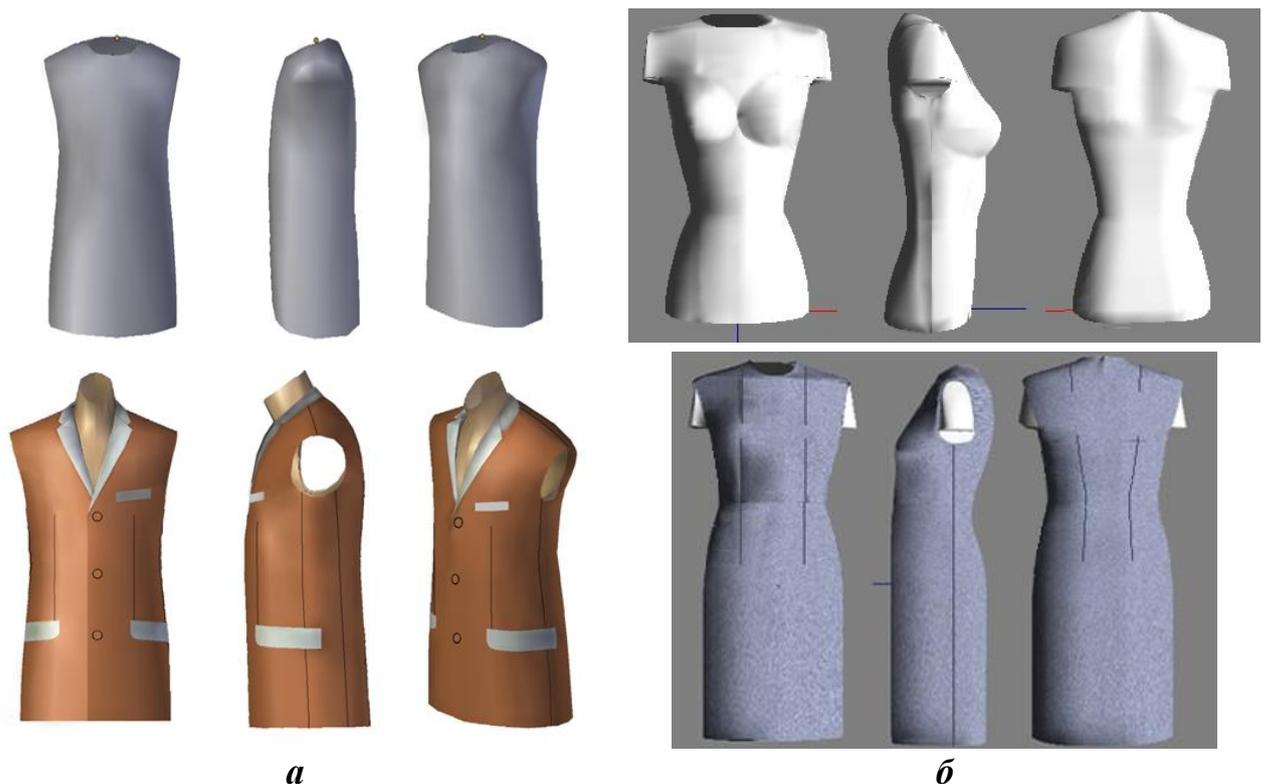
*a**б*

Рисунок 5.37 - 3D модель проектируемого изделия: *a* – мужской пиджак, *б* – женское платье

В соответствии с полученной конструкторско-технологической документацией на проектируемые модели мужских пиджаков и женских платьев различных силуэтов изготовлены макеты мужских пиджаков из костюмной ткани и макеты женских платьев. После чего проведена процедура *3D* сканирования изготовленных образцов мужских пиджаков на соответствующих мужских фигурах, женских платьев на соответствующих женских фигурах, в результате чего построены достоверные *3D* модели готовых изделий на фигурах реальных потребителей соответствующего размера.

На рисунке 5.38 последовательно отражены этапы процедуры автоматизированной оценки соответствия внешней формы готового изделия фигуре человека: абрис женской фигуры, *3D* модель фигуры потребителя, виртуальный манекен, *3D* модель платья, *2D* фотография макета изделия и *3D* модель фигуры в платье, полученная *3D* сканированием.

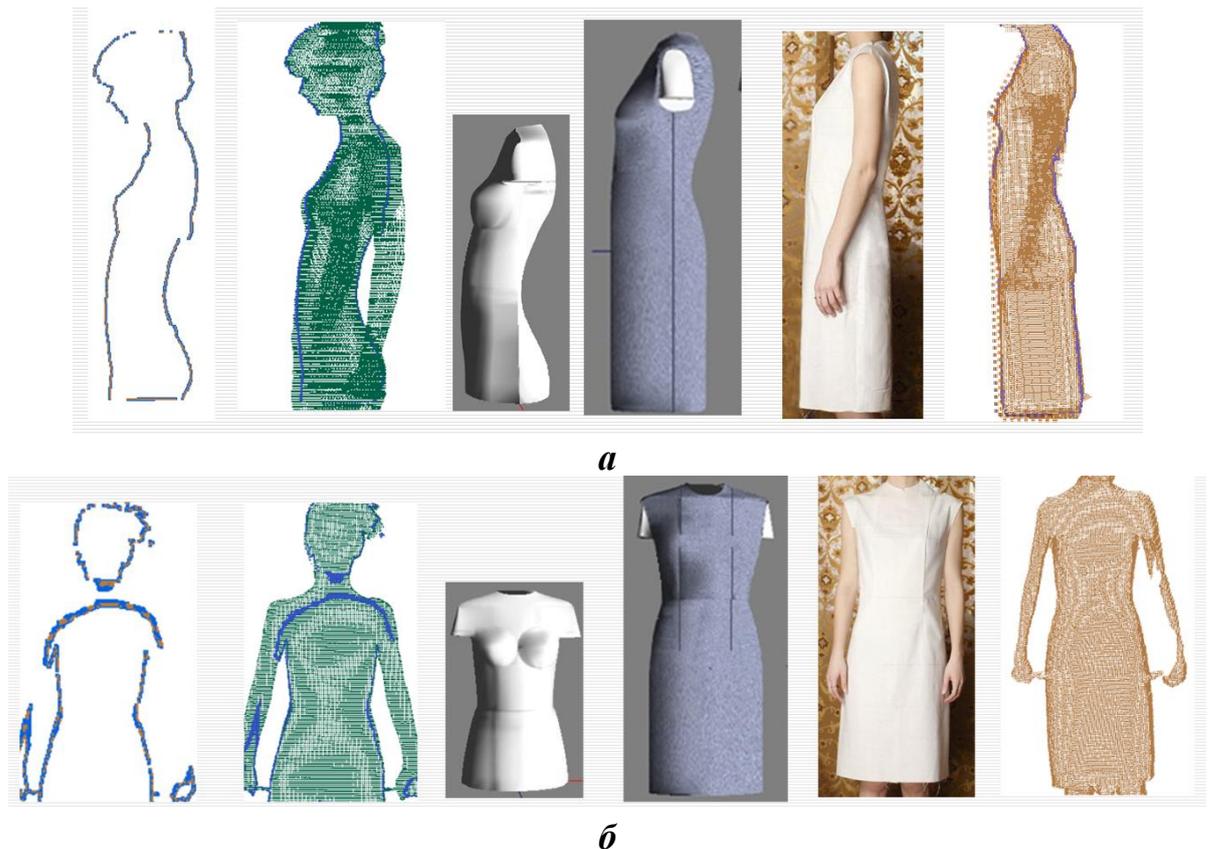


Рисунок 5.38 - Оценка соответствия внешней формы женской одежды фигуре человека: а - вид сбоку, б) вид спереди

На рисунке 5.39 отражена последовательность оценки качества проектного решения базовой формы мужского пиджака на соответствующей фигуре человека: 3D антропометрическая модель фигуры, виртуальный манекен, 3D модель пиджака, 2D фотография макета изделия и 3D модель изготовленного макета пиджака, полученная 3D сканированием. Сравнительный анализ 3D виртуальных моделей проектируемых швейных изделий и соответствующих 3D антропометрических моделей проводился для оценки степени их соответствия друг другу.

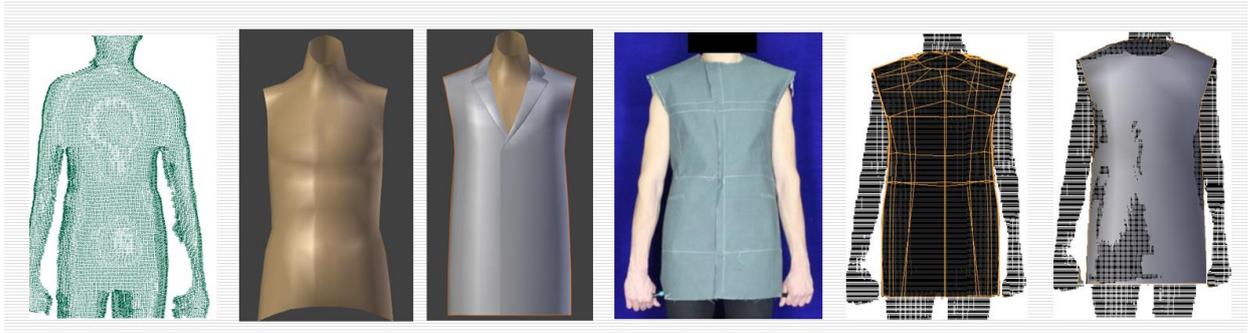


Рисунок 5.39 - Оценка соответствия 3D модели мужского пиджака антропометрической модели фигуры

Оценка соответствия 3D виртуальной модели изделия отшитому изделию проведена путем сравнения дискретной модели изделия и облака точек, полученного в результате 3D сканирования отшитого изделия на фигуре потребителя:

$$P_{model} = \{z_i \mid \forall x_i \in P_{discrete} : z_i = \arg \min_y (|x_i - y|) \mid y \in P_{cloud}\}, \quad (5.7)$$

где $P_{discrete}$ – множество точек дискретной модели;

P_{cloud} – множество точек, полученных в результате 3D сканирования;

P_{model} – множество эталонных точек из P_{cloud} , соответствующих множеству экспериментальных точек $P_{discrete}$;

i – положительное целое число, связующий порядковый номер для точек множества P_{model} и множества $P_{discrete}$.

Для оценки степени соответствия различных характеристик виртуальной 3D модели мужского пиджака и женского платья и соответствующих отшитых изделий использовались среднеквадратичные отклонения этих параметров [216]. В результате сравнения 3D модели

внешней формы проектируемого изделия и отсканированной внешней формы образца изделия, изготовленного по разработанной 2D конструкции установлено, что отклонения между их соответствующими параметрами не превысили 0,9 - 1,2%. Таким образом, можно отметить высокую степень соответствия виртуальной 3D базовой внешней формы проектируемого изделия, представленного в САПР *EleandrCAD*, внешней форме отшитого образца, как в пределах эстетического восприятия, так и пределах математически допустимой погрешности. Следует отметить, что столь высокая достоверность виртуального представления 3D модели проектируемого изделия в САПР обусловлена простотой базовой внешней формы изделия, небольшими конструктивными прибавками для формирования прилегающего силуэта и значительной жесткостью костюмных тканей. Однако, при 3D виртуальном моделировании более сложных модельных форм женских платьев свободных силуэтов из драпируемых тканей в САПР достоверность 3D моделей проектируемых изделий оказывается значительно ниже, поэтому 3D сканирование внешней формы готовых образцов изделий остается самым надежным источником цифровой информации о поверхности одежды.

Разработанный метод 3D сканирования внешней формы одежды и фигуры позволяет представить потребителю или промышленному заказчику виртуальные образы проектируемых изделий на любых индивидуальных или типовых фигурах. Кроме того, разработанные системы 3D сканирования являются объективным инструментом виртуальной оценки качества посадки проектируемых изделий на фигуре человека и способствуют проведению виртуальных примерок на реалистичных 3D моделях фигур потребителей.

5.6. Разработка методики оценки проектных решений одежды с помощью 3D сканирования

Структурная схема процесса проведения оценки проектных решений одежды на соответствие техническому эскизу, техническому заданию изделия и антропометрическим характеристикам фигуры отражена на рисунке 5.40.

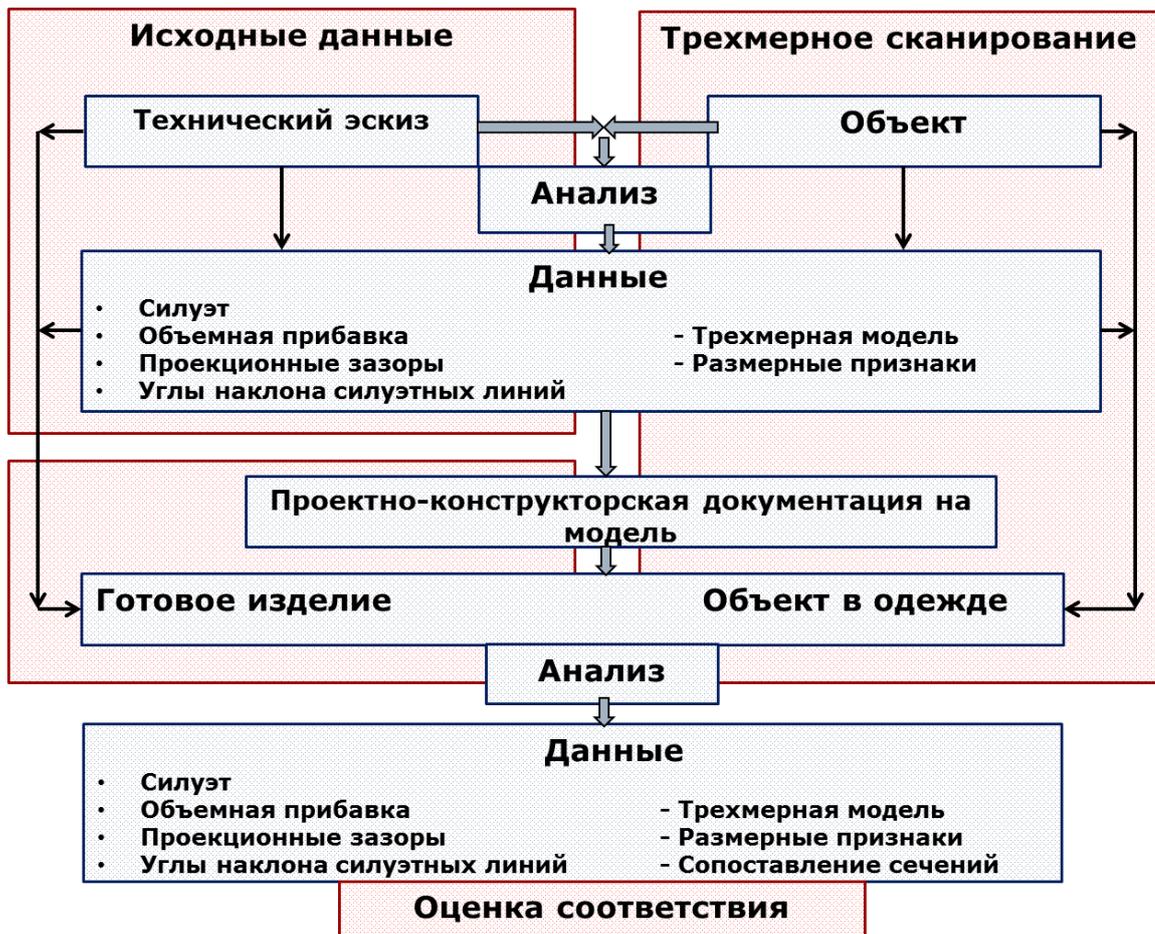


Рисунок 5.40 - Структурная схема процесса проведения оценки соответствия внешней формы проектируемой одежды техническому эскизу

В правой части структурной схемы расположена последовательность действий конструктора при традиционном и 3D проектировании одежды без использования системы 3D сканирования. Исходная информация для проектирования одежды представляется в виде технического эскиза (ТЭ) нового изделия, требований к нему, сформулированных в техническом задании, и размерных характеристик фигур, на которые будет создаваться конструкторско-технологическая документация. По ТЭ конструктор

определяет силуэт, покрой, величины конструктивных прибавок на основных антропометрических уровнях, а с помощью *3D* сканирования – информацию о размерных признаках, конфигурации внешней формы фигур на опорных участках. Проведение *3D* сканирования отшитого образца спроектированного изделия на заданной фигуре человека позволяет в автоматизированном режиме на основе количественных критериев дать объективную оценку проектного решения по степени соответствия замыслу дизайнера и параметрам фигуры, то есть выполнить оценку соответствия внешней формы одежды ТЭ, ТЗ и антропометрическим характеристикам.

В общем виде процесс проведения оценки проектного решения одежды должен осуществляться параллельно по двум направлениям – анализ информации технического эскиза и получение исходных антропометрических данных о форме фигур потребителей с помощью систем *3D* сканирования. В качестве входной информации на этапе получения данных о предмете проектирования может выступать художественный или технический эскиз и техническое задание на новую модель. По изображению технического эскиза определяются проекционные зазоры в области груди, талии, бедер в профиль и анфас. Затем сканируется типовая или индивидуальная фигура человека, и строится *3D* модель фигуры высокой степени антропометрического соответствия. В соответствии с оцифрованной антропометрической информацией в любой доступной конструктору САПР одежды выполняется конструирование и моделирование проектируемого изделия, формируется конструкторско-технологическая документация для изготовления образца изделия. Затем проводится *3D* сканирование готового изделия, надетого на фигуру потребителя, для проведения оценки качества проектного решения по соответствию полученной силуэтной формы изделия техническому эскизу, сопоставлению фактических проекционных и конструктивных прибавок и запланированных конструктором.

Методика оценки качества проектного решения одежды с помощью *3D* сканирования включает следующие этапы:

- 1) *3D* сканирование фигуры человека (типového манекена или индивидуального потребителя), накопление цифровой антропометрической информации в базе данных, выбор виртуального *3D* манекена искомой фигуры из разработанной базы данных *3D* моделей человеческих фигур.
- 2) *3D* сканирование отшитого образца проектируемого изделия, надетого на соответствующую фигуру человека, и формирование виртуальной *3D* модели изделия, с высокой точностью отображающей оцифровываемый объект.
- 3) Исследование возможных искажений топологии цифровой поверхности *3D* модели изделия для выявления возможных конструктивных дефектов и внесения изменений в проектное решение изделия.
- 4) Сопоставление количественных характеристик *3D* модели отсканированного образца проектируемого изделия и *3D* модели технического эскиза или виртуального *3D* манекена соответствующей по размеру фигуры человека.
- 5) Измерение контролируемых параметров изделия.
- 6) Сопоставление результатов *3D* сканирования с исходной информацией по проектированию и автоматизированное формирование оценки качества проектного решения по количественным критериям для запуска в производство или для осуществления корректировки.

Способ проведения оценки проектных решений одежды с помощью системы *3D* сканирования на соответствие техническому эскизу и техническому заданию одежды лежит в основе разработки достоверной виртуальной *3D* примерки проектируемых изделий из различных материалов на заданных фигурах. Возможности системы *3D* сканирования позволяют использовать ее как экспертную систему для изучения поведения материалов на фигуре человека и в различных конструктивных решениях, а также для поиска способов реализации художественного замысла дизайнера, выраженного в ТЭ и виртуальном прообразе изделия, за счет применения инновационных решений конструкции или материалов. Разработанный метод

оценки качества проектных решений одежды на соответствие техническому эскизу и заданию с помощью *3D* сканирования позволяет учитывать состав, вид, количество, местоположение и конфигурацию формообразующих элементов в области туловища, а также процентное распределение суммарного раствора выточек между формообразующими элементами. Знания о свойствах материалов, определяющих формообразование швейных изделий, способствуют достоверному виртуальному моделированию их поведения в одежде, и лежат в основе систематизации данных по конструктивному формообразованию деталей одежды, соответствующему первоначальному виртуальному представлению о проектируемом изделии, а также по контролю за надлежащим качеством изготовления и посадки изделия на соответствующей фигуре потребителя.

Выводы по пятой главе:

1. Разработана концептуальная модель методологии оценки качества проектных решений одежды, создаваемых с использованием методов автоматизированного виртуального проектирования и представляемых цифровыми *2D* и *3D* моделями проектируемых изделий, контролируемых в процессе виртуальной примерки с помощью *3D* сканирования.
2. Оценка качества проектных решений одежды, представленных в цифровом виде, базируется на автоматизированном сопоставлении объективных количественных критериев с помощью *3D* сканирования и интерактивном визуальном анализе субъективных качественных критериев.
3. Разработан метод поэтапной оценки антропометрического соответствия проектируемых швейных изделий параметрам заданных фигур путем автоматизированного сопоставления установленного перечня параметров одежды, лекал, эскиза и фигуры человека, отраженных в виртуальной среде. Согласно проведенному ранжированию ключевыми параметрами оценки антропометрического соответствия плечевой одежды являются длина спинки и рукава, ширина спинки, рукава и изделия на уровне

груди, талии, бедер, ширина рукава, для поясных изделий ширина на уровне талии и бедер.

4. Сформирована последовательность этапов процедуры оценки антропометрического соответствия проектируемой одежды с помощью *3D* сканирования путем создания баз данных: параметров типовых фигур мужчин, женщин и детей; *3D* виртуальных манекенов типовых фигур; *3D* моделей фигур, полученных *3D* сканированием; *2D* лекал деталей изделий; *3D* эскизов; *2D* фотографий изготовленных образцов одежды; *3D* моделей изготовленных образцов одежды.

5. 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. На основе результатов оценки антропометрического соответствия проектируемой одежды конкретной фигуре осуществляется корректировка лекал изделия путем изменения контролируемых параметров.

6. 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.

7. Установлены закономерности распределения пространственных зазоров по участкам конструкции на основных антропометрических уровнях и способы их определения для оценки подобия силуэтных линий исследуемых объектов в количественных угловых характеристиках.

8. Разработан метод объективной оценки внешней формы и качества посадки корсетно-бельевых изделий с помощью *3D* сканирования. Выделены основные количественные характеристики, обуславливающие формирование эстетически приемлемой внешней формы одетой груди, в том числе угол наклона верхней части грудной железы в наиболее выступающей

точке относительно горизонтали, высота подъема грудных желез, величины проекционных зазоров на уровне обхвата груди четвертого.

9. Разработан метод оценки проектных решений одежды по соответствию эскизу изделия. Предложены количественные критерии оценки степени соответствия внешней формы *3D* моделей проектируемых изделий и изготовленных образцов эскизу дизайнера, включая характеристики, определяемые техническим заданием, и художественно-конструктивные характеристики зрительного подобия.

10. Разработан и математически обоснован метод оценки достоверности виртуального представления *3D* моделей фигур и проектируемых изделий в САПР одежды на основе метрической и визуальной информации о форме, размерах и топологии поверхности, полученной с помощью *3D* сканирования. Оценка соответствия *3D* виртуальной модели изделия отшитому изделию проводится путем сравнения дискретной модели изделия и облака точек, полученного в результате *3D* сканирования отшитого изделия на фигуре потребителя.

11. Разработана процедура автоматизированной оценки соответствия внешней формы готового изделия определенной фигуре человека путем проведения последовательного сравнительного анализа виртуальных *3D* моделей проектируемых швейных изделий и отсканированных фигур, что способствует представлению потребителю или промышленному заказчику виртуальных образов проектируемых изделий на любых индивидуальных или типовых фигурах.

12. Разработанные системы *3D* сканирования являются объективным инструментом виртуальной оценки качества посадки проектируемых изделий на фигуре человека и способствуют проведению виртуальных примерок на реалистичных *3D* моделях фигур потребителей.

13. 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.

14. Инструментальный потенциал разработанной системы *3D* сканирования обеспечивает возможность достоверного изучения внешней формы фигуры человека и одежды из различных материалов, влияющих на формообразование изделий. Функции разработанной системы *3D* сканирования позволяют оценить влияние свойств материалов на создание внешней формы одежды, соответствующей антропометрическим характеристикам и замыслу дизайнера, воплощенному в эскизе проектируемого изделия, и систематизировать информацию в базы знаний по корректному виртуальному проектированию одежды.

6. ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВНЕШНЕЙ ФОРМЫ ОДЕЖДЫ С ПОМОЩЬЮ ТРЕХМЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ

В основе разработанного метода проектирования внешней формы швейных изделий лежит технология *3D* сканирования, обеспечивающая возможность формирования баз данных о характеристиках пространственной поверхности фигуры человека и внешней формы одежды, и направленная на повышение эффективности виртуального автоматизированного проектирования одежды (рис. 6.1).



Рисунок 6.1 – Структура процесса проектирования внешней формы швейных изделий с помощью *3D* сканирования

Формирование баз данных *3D* моделей типовых и нетиповых фигур человека и отдельных частей тела в статике и в динамике способствует созданию информационного обеспечения для проектирования и изготовления шаблонов и манекенов внутренней и внешней формы одежды, пресс-форм ВТО, форм-колодок головных уборов. Внедрение

инновационных технологий для антропометрических обследований людей с ограниченными возможностями позволит оперативно получать достоверную информацию о топологии поверхности их фигур и значительно снизить дискомфорт при проведении необходимых измерений для изготовления швейных изделий специального и медицинского назначения.

Формирование баз данных *3D* моделей типовых и нетиповых фигур способствует совершенствованию процесса автоматизированного проектирования швейных изделий и повышению удовлетворенности населения соразмерностью и качеством посадки выпускаемой одежды.

Систематизация данных об изменениях внешней формы человеческих фигур в динамике предоставляет возможность обоснованного выбора конструктивных прибавок на свободу движений для проектирования одежды, предназначенной для активной деятельности, и соответственно разработки рекомендаций по совершенствованию методик конструирования швейных изделий с учетом повышенных эргономических требований.

6.1. Совершенствование методик конструирования с применением данных *3D* сканирования

Использование технологии *3D* сканирования позволяет усовершенствовать современные методики конструирования в следующих направлениях:

- Введение дополнительных размерных признаков фигуры человека для повышения степени антропометрического соответствия внешней формы одежды.
- Использование достоверной информации о динамических изменениях размерных признаков фигуры человека и обоснование конструктивных прибавок на свободу движения данными *3D* сканирования тела человека в статике и динамике.
- Проектирование манекенов внутренней формы одежды способом послойного *3D* моделирования (см. п. 5.4).

Введение дополнительных размерных признаков в расчетные формулы методик конструирования способствует повышению точности построения верхних контурных линий в плечевой одежде, расчёту основных конструктивных отрезков. Использование 3D сканирования для получения более подробных сведений о внешней форме фигуры человека позволяет получать такие дополнительные размерные признаки, как: наклон плеча $\angle\gamma\phi$, высота $Bл$ и длина $Дл$ лопатки, расстояние между центрами лопаток $Цл$, высота проймы сзади от точки основания шеи сбоку $Bпр.31$, проекционная высота груди $Bг1$, глубины живота $Гж$ и ягодиц $Гя$ (рис. 6.2 и Приложение И).). Таким образом, благодаря технологии 3D сканирования конструктор швейных изделий может не ограничивать себя перечнем типовых размерных признаков, а использовать любые антропометрические характеристики, полезные для создания или уточнения конструкции одежды

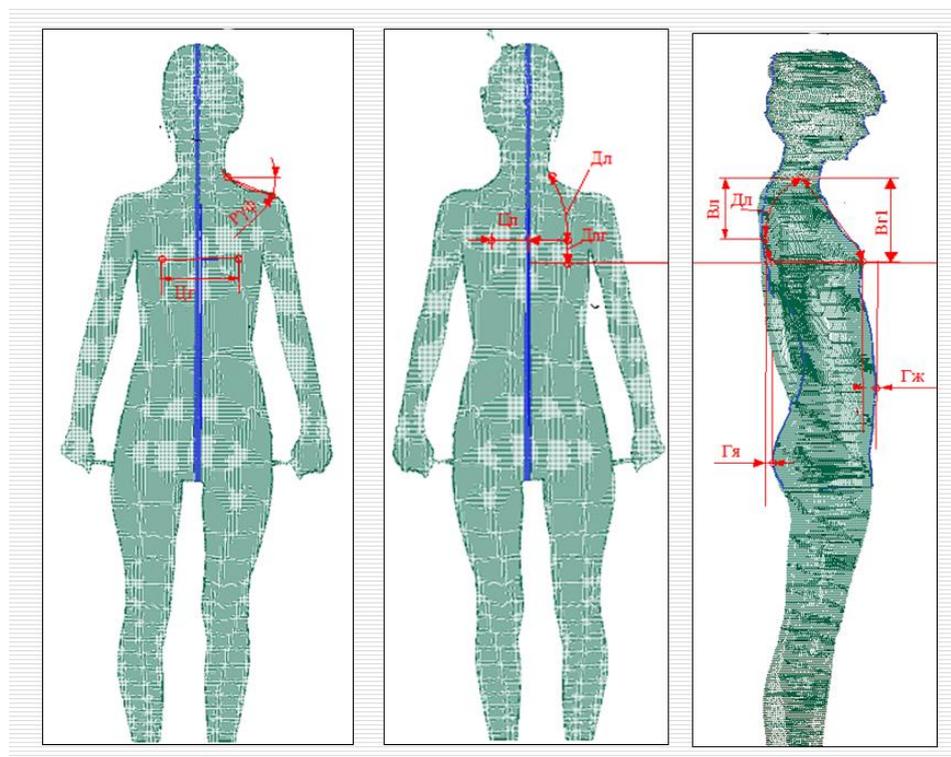


Рисунок 6.2 – Схема дополнительных измерений фигуры, получаемых 3D сканированием

Создание корпоративной одежды для крупных предприятий предполагает массовое производство изделий, проектируемых с учетом телосложения индивидуальных фигур. В практическую деятельность

швейного предприятия ООО «Этника» (г. Москва), специализирующегося 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. 6.3), в том числе ОАО «Аэропорт Внуково», ОАО «Авиационная Компания Атлант-Союз», авиакомпаний «Московия», «East Air», «Россия», ОАО «Газпром», ООО «Ям Ресторантс Раша» (сеть ресторанов КФС), ЗАО «Банк Русский Стандарт», ООО «Хоум Кредит энд Финанс Банк», ОАО «Первый канал», ОАО «Торговый дом ГУМ» и ООО «Ресторация Боско» (акт Приложение Л).

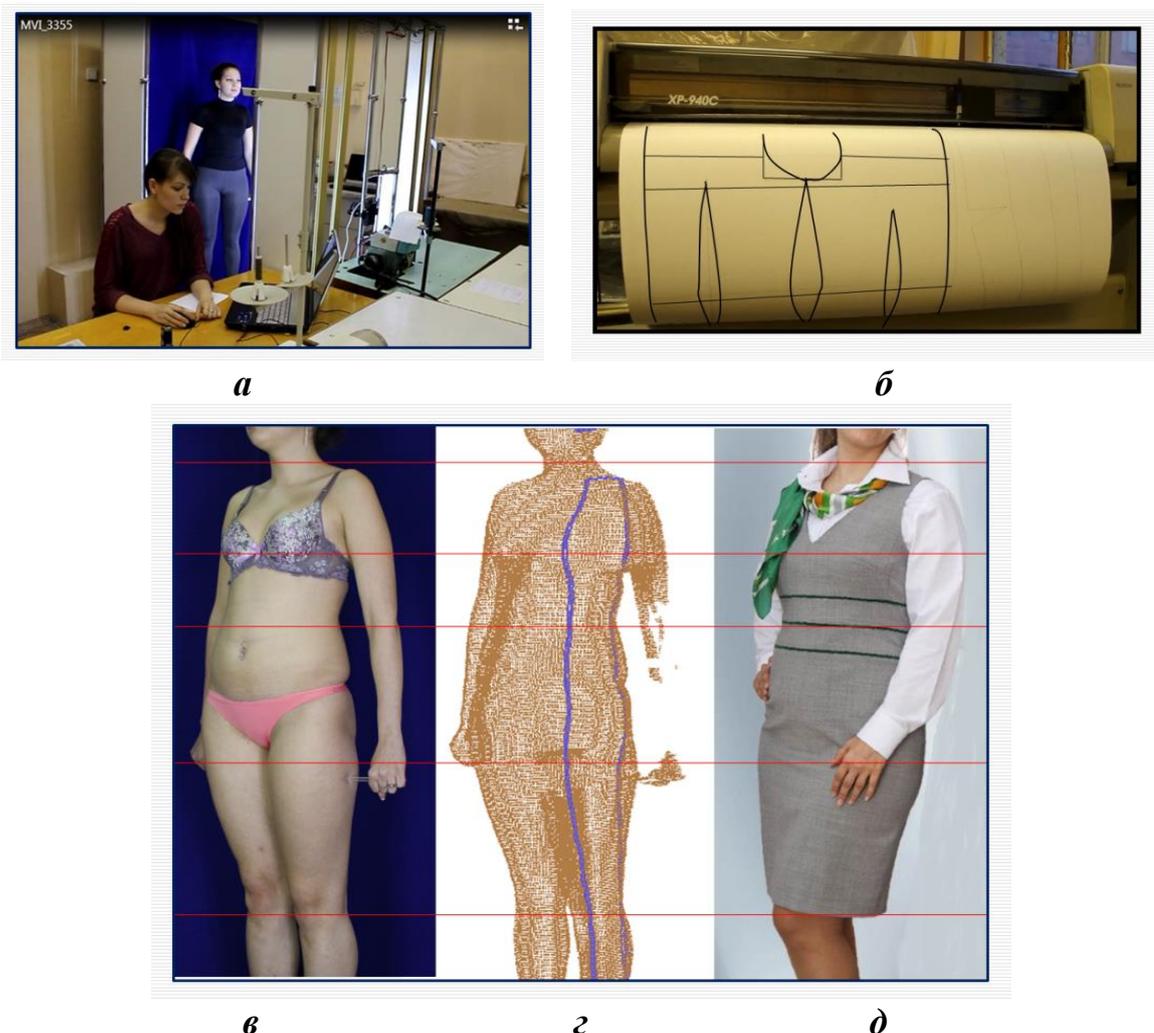


Рисунок 6.3 – Внедрение 3D сканирования в производство: а - система 3D сканирования; б - изготовление ПКД; в – фото индивидуальной фигуры потребителя; г - 3D модель индивидуальной фигуры; д - изделие

При изготовлении большого количества комплектов фирменной одежды для сотрудников отдельных корпораций в условиях массового производства необходимо достоверно определить размерные характеристики, особенности телосложения и топологии поверхности индивидуальных фигур (рис. 6.4).

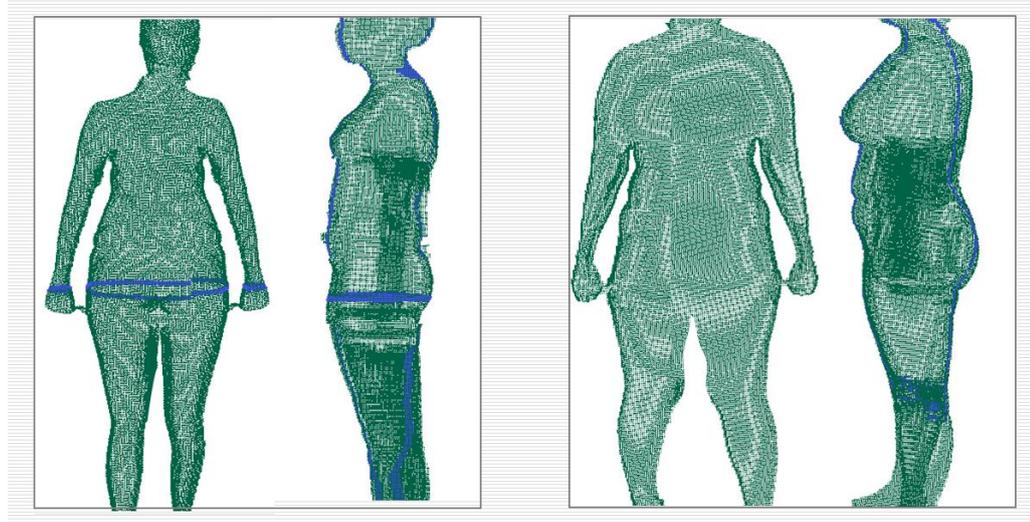


Рисунок 6.4 – 3D модели индивидуальных фигур сотрудников корпораций

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. Такой подход проектирования и изготовления корпоративной одежды требует значительного складского запаса готовых изделий различных размероростов и издержек по доставке примерочных комплектов одежды на рабочее место сотрудников, отличается дополнительными затратами на изготовление невостребованных изделий и проектированием изделий на отдельные индивидуальные фигуры.

При использовании разработанной системы 3D сканирования для изготовления корпоративной одежды значительно улучшилось качество посадки одежды и удовлетворенность потребителей, сократились

непроизводственные затраты по подбору одежды из типовых вариантов, было обеспечено рациональное использование материалов. Однако, следует отметить, что увеличилось количество комплектов цифровых 2D лекал, автоматизированный раскрой изделий осуществлялся одиночными полотнами, что увеличило затраты подготовительно-раскройного участка швейного производства. Благодаря мобильности система 3D сканирования может размещаться как у производителя, так и перемещается в офис корпорации-заказчика для оперативного антропометрического обследования сотрудников. Для корректировки растворов верхних вытачек конструкций одежды для фигур с высокими или низкими плечами может быть использована информация об углах наклона плеч индивидуальных фигур, полученная с помощью 3D сканирования, что позволяет усовершенствовать методику проектирования женской одежды на нетиповые фигуры (рис. 6.5, 6.6, Приложение И).

Промышленная апробация метода проектирования внешней формы одежды, позволяющего учитывать особенности нетипового телосложения фигур с помощью разработанной технологии 3D сканирования, успешно проведена на крупнейшем швейном предприятии Смоленской области ООО «Униформа» путем разработки конструкций женских платьев, жакетов, юбок и мужской одежды специального назначения на индивидуальных потребителей для изготовления в условиях промышленного производства. Благодаря использованию 3D моделей фигур конкретных потребителей, оцифрованных с помощью 3D сканирования, заказчику были представлены виртуальные 3D модели проектируемых изделий на заданных фигурах, что позволило дистанционно через интернет провести оценку внешней формы разработанных образцов и в режиме удаленного доступа оперативно согласовать с заказчиком внешний вид проектируемой одежды, отличающейся высоким качеством посадки. Установлено, что использование технологии 3D сканирования при проектировании изделий на индивидуальные фигуры позволило улучшить качество посадки изделий и повысить эффективность производства (акт Приложение Л).

Успешное внедрение системы 3D сканирования в производственный процесс ООО «Дизайн-Люкс» (г. Москва) позволило усовершенствовать автоматизированное проектирование новых моделей одежды и улучшить качество посадки производимых швейных изделий (акт *Приложение Л*).

В качестве преимущества практического использования разработанной системы 3D сканирования в промышленных условиях на швейном предприятии ООО «Классик Дизайн» (г. Москва) отмечена возможность проведения оценки проектных решений по новой коллекции женской одежды путем сравнения выделенных параметров электронных чертежей конструкции с виртуальным эскизом и отсканированной внешней формой поверхности экспериментальных образцов (акт *Приложение Л*).

С помощью цифровой информации, полученной при внедрении разработанной системы 3D сканирования в производственный цикл швейного предприятия ООО «Анна Тарес» (г. Москва), были разработаны перспективные коллекции на сезоны весна-лето и осень-зима 2012 г. На повышение эффективности производственной деятельности положительное влияние оказала возможность виртуальной оценки качества посадки изделий на любых фигурах и оценки оцифрованной внешней формы изделия. Руководителями компании отмечена полезность системы 3D сканирования для онлайн-представления промышленной коллекции, способствующего повышению сбыта продукции и конкурентоспособности предприятия (акт *Приложение Л*).

При промышленном внедрении системы 3D сканирования на предприятии ООО «Бизнес Партнер» (г. Москва) улучшилось качество посадки проектируемой одежды благодаря более глубокому учету пожеланий индивидуальных потребителей (акт *Приложение Л*).

Результаты промышленной апробации технологии 3D сканирования на швейных предприятиях подтвердили возможность изготовления одежды на фигуры индивидуальных потребителей или по персональному заказу в условиях массового производства, возможность виртуальной оценки

качества проектных решений и виртуального представления промышленной коллекции для онлайн-продаж, в том числе на фигурах реальных потребителей.

6.2. Проектирование одежды на основе обоснованной информации о динамических изменениях размерных признаков

Неотъемлемым условием проектирования одежды, комфортной в динамике, является наличие достоверной информации об изменениях размеров и формы тела человека при совершении заданного спектра движений. На конструктивные параметры деталей одежды влияют динамические эффекты, то есть разница между размерными признаками фигуры, находящейся в статичном состоянии и в различных динамических позах и движениях. При расчёте конструктивных прибавок на свободу движения необходимо также учитывать уровень давления одежды на поверхность тела человека, возможную деформацию материала или перемещение отдельных участков изделия относительно поверхности тела человека. К одежде для активной деятельности предъявляются повышенные эргономические требования, определяемые эргономическими показателями динамического соответствия одежды.

Система *3D* сканирования позволяет исследовать пространственную ориентацию одежды относительно поверхности тела человека, выделить опорную и касательную поверхности одежды, определить величину воздушных зазоров на выбранных антропометрических уровнях [199, 185]. При виртуальном совмещении *3D* динамических моделей фигуры без одежды (рис. 6.7, б) и фигуры в одежде (рис. 6.7., в) можно выявить зоны взаимодействия одежды с поверхностью тела человека. Так, на рисунке 6.7 (а) можно видеть зоны напряжённого контакта одежды с фигурой в области груди и спины до линии талии, а также зону спокойного давления в области поясицы сзади и зону свободного контакта в области живота спереди

(синей линией отмечен контур сечения фигуры человека, коричневой линией – одетой фигуры).

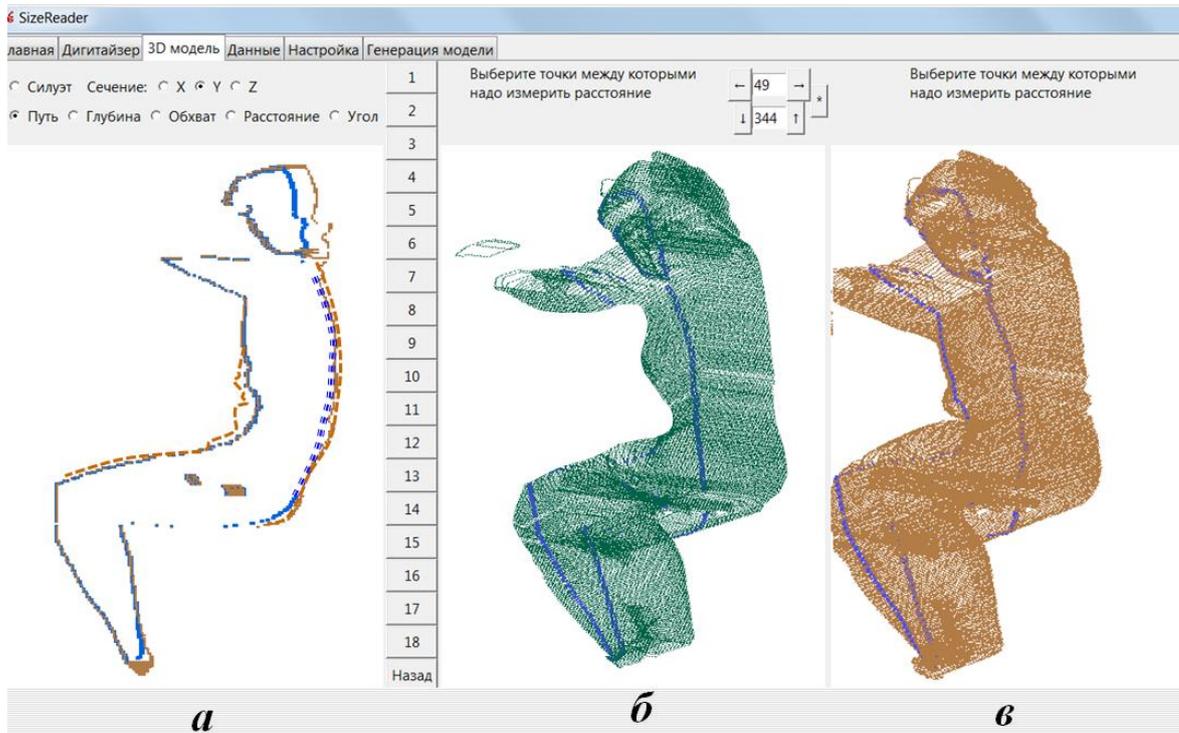


Рисунок 6.7 - Совмещение 3D динамических моделей фигуры и фигуры в одежде: а – совмещение сагиттальных сечений через выступающую точку груди, б – 3D модель фигуры, в – 3D модель одетой фигуры

Таким образом, разработанная система 3D сканирования позволяет моделировать в 3D виртуальной среде движения, характерные для эксплуатации одежды при активной деятельности человека. Технология 3D сканирования обеспечивает возможность оценки как размахов движений отдельных частей тела человека, так и уровня давления в зонах контакта одежды с поверхностью фигуры. Предложена методика корректировки конструктивных параметров одежды в соответствии с эргономическими показателями динамического соответствия с помощью 3D сканирования:

- 1) Формулирование эргономических требований к проектируемой одежде.
- 2) Выявление характерных движений и их диапазона для рассматриваемого рода деятельности.
- 3) Определение участков деталей конструкции, на внешнюю форму которых влияет выполнение характерных движений.

- 4) Выделение перечня размерных характеристик фигуры человека, в большей степени изменяющихся при выполнении характерных движений.
- 5) Проведение антропометрических измерений для выявления динамических эффектов от выполнения характерных движений с помощью 3D сканирования.
- 6) Построение 3D статической модели фигуры человека.
- 7) Построение 3D динамической модели фигуры человека.
- 8) Определение динамических приростов размерных признаков путем сравнения данных 3D сканирования тела человека в статике и динамике.
- 9) Изготовление макетов базовых форм одежды.
- 10) Исследование изменений конструктивных параметров деталей одежды при сравнении 3D динамических моделей одетой и раздетой фигуры, полученных с помощью 3D сканирования.
- 11) Корректировка конструктивных параметров деталей одежды.

Предложенная методика апробирована при проектировании специальной одежды для парашютистов [271] и спортивной одежды для балетных танцев, что обусловило формирование повышенных требований (табл. 6.1).

При проектировании одежды для парашютистов были выявлены характерные движения и позы, которые фиксировались путем фото- и видеосъемок во время подготовки к старту, старта, полета, при приземлении и складывании парашюта (рис.6.8).

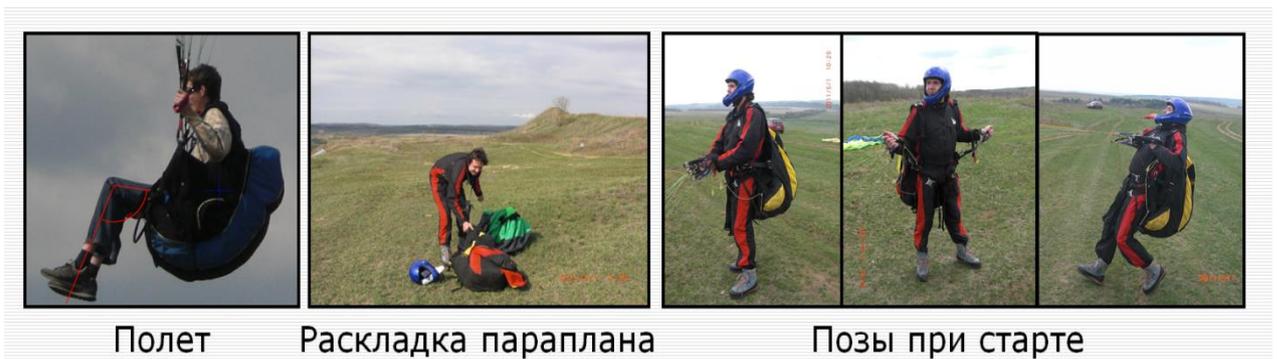


Рисунок 6.8 – Характерные позы парашютистов

Таблица 6.1 – Специальные требования к одежде для парапланеристов, спортивной и бытовой одежде

Требования	Одежда для парапланеризма	Спортивная одежда для бальных танцев	Бытовая одежда
Социальные	<i>соответствие потребительскому спросу, целевому назначению, половозрастным признакам</i>		
	Потребители		
	мужчины, женщины	мужчины, женщины, дети	мужчины, женщины, дети
	стоимость, руб.		
	3500-5000	1 500 – 10 000	750-5000
Функциональные	<i>Соответствие параметров и формы одежды размерам тела</i>		
	динамическое соответствие		эргономическое
	защита от климатических воздействий	защита интимных частей тела	соответствие назначению
	защита от механических повреждений	сохранение стабильной длины рукавов	защита от факторов внешней среды
	сохранение параметров пододежного пространства	сохранение положения частей костюма относительно друг друга	сохранение параметров пододежного пространства
	<i>Удобство одевания и эксплуатации</i>		
эстетические	Цвет		
	яркий, не больше 3 в одном костюме	в соответствии с программой танцев	предпочтения потребителя
	Ассортимент		
	комбинезон	Купальник, юбка	любой
	куртка, брюки	платье	
	Сорочка, брюки		

Выделен перечень размерных характеристик фигуры человека, в большей степени подверженных изменению при выполнении движений, характерных для парапланеризма (табл. 6.2).

Таблица 6.2 - Размерные признаки, изменяющиеся в динамике

РП	Одежда для парапланеризма
подверженные изменению	<i>T18, T19, T20, T47, T40, T43, T41, T28, T104, T50, T22, T36, T61</i>
активно изменяющиеся	<i>T45, T47, T40, T41, T43, T28</i>

На основании проведенного 3D сканирования фигур 30 мужчин-парапланеристов в статике и динамике определен динамический эффект по каждому размерному признаку (*Приложение К, табл. К.1*), что позволило разработать БК и МК мужского комбинезона для парапланеристов (рис.6.9).

Для решения проблемы распознавания конструктивных элементов комбинезона, подверженных максимальному изменению при выполнении активных движений, в костюме парашютиста вшили оптоволоконные нити торцевого свечения, расположив места вывода оптоволоконных световодов по линии проймы, в плечевых, локтевых и коленных точках, по линии низа (рис 6.9, б) [270]. Конструктивной основой гибких волоконных световодов являются стеклянные или пластиковые оптические волокна, состоящих из сердцевины, выполненной из мягкого материала, и более твердой оболочки, отличающихся торцевым или боковым свечением для передачи света в заданную точку пространства с минимальными потерями.

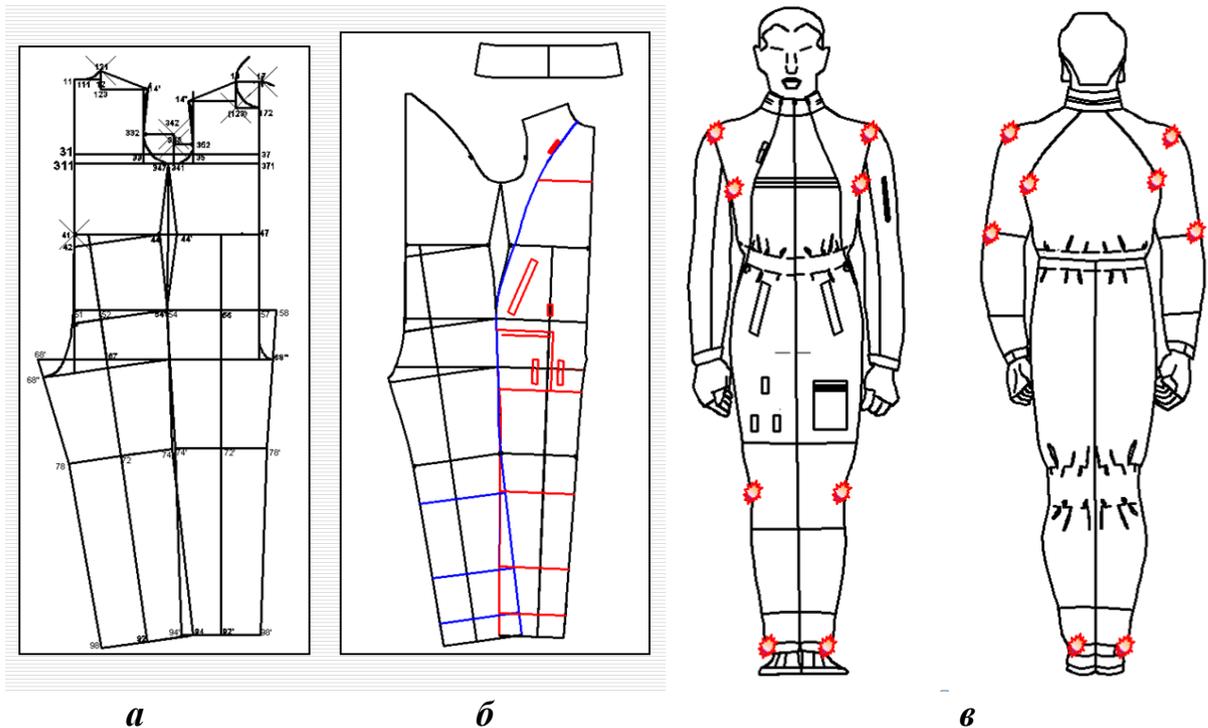


Рисунок 6.9 – Комбинезон парашютиста: а - БК; б – МК; в - технический эскиз с местами расположения оптоволоконных элементов

Предложенное техническое решение позволяет обеспечить повышенные сигнальные функции одежды при предъявлении таких требований к специальной одежде, дополнив широко применяемые светоотражающие материалы. При этом светоотражающие материалы отражают только направленный свет, утрачивая рассматриваемую функцию в светлое время суток, в то время как конструктивные элементы спецодежды

из оптоволокна отличаются тем, что способны передавать управляемые сигналы с высоким коэффициентом светопередачи, отличаются яркими цветами, безопасны для здоровья человека, могут использоваться для опознавания сотрудников специальных подразделений, таких как пожарные (красные сигналы оптоволокна), полицейские (синие), сотрудники аварийных служб (желтые) и др. (рис.6.10).



Рисунок 6.10 - Конструктивные элементы одежды и обуви с применением оптоволокна: а - костюм мотоциклиста, б-верхняя часть перчатки мотоциклиста, в - сапоги

Проведено 3D сканирование парапланериста, раздетого и одетого в разработанный комбинезон, при выполнении характерных движений (рис. 6.10), в результате которого определены диапазоны конструктивных прибавок на свободу движения в соответствии с функцией желательности Харрингтона (табл. 6.3).

Таблица 6.3 – Диапазон прибавок на свободу движения для комбинезона парапланериста

Обозначение прибавок	П47	П28	П41	П40	П43	П22	П18	П19	П20
Диапазон прибавок, см	1,2-4,32	2,4 - 4,2	1,0 – 1,9	1,0 – 1,8	1,0 – 1,9	2,6 – 4,4	4,0 – 4,8	4,3 – 7,3	3,5 – 5,8



Рисунок 6.11 - 3D сканирование комбинезона парашютиста в динамике

Для апробации методики проектирования эргономически удобной бытовой одежды в качестве объекта выбран - один из более массовых видов женской бытовой одежды – юбка, были учтены основные требования к изделию (табл. 6.2) и выявлены позы, оказывающие наибольшее влияние на изменение размерных признаков фигур в динамике. К бытовым движениям отнесены действия, не связанные с физической нагрузкой. Близкие по характеру движения были объединены в общую позу. Основные движения при выполнении бытовой деятельности отражены на рисунке 6.12.

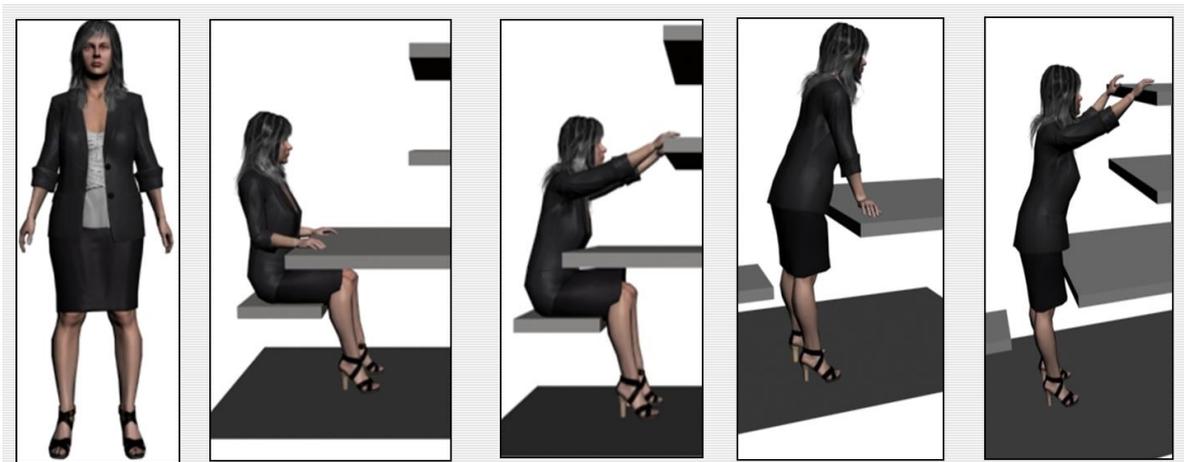


Рисунок 6.12 – Характерные движения бытовой деятельности

В качестве основных бытовых поз выделены: *статичная поза* - человек стоит прямо, без напряжения с привычной осанкой, руки опущены вдоль тела, ноги выпрямлены в коленях и слегка раздвинуты. *Поза сидя*: спина чуть отклонена назад, плечи опущены вниз, грудная клетка

расправлена, руки согнуты в локтях под углом 90° , кисти рук в естественном положении, колени согнуты под углом 90° , ступни ног ровно стоят на полу. Поза *сидя с поднятыми руками*: корпус тела наклонен вперед под углом 80° - 70° , руки подняты вверх под углом 120° , колени согнуты под углом 90° , ступни ног ровно стоят на полу. Анализ характерных поз позволил определить перечень размерных характеристик фигуры, в большей степени изменяющихся при выполнении бытовых движений (табл. 6.4).

Таблица 6.4 - Размерные признаки, изменяющиеся в динамике

<i>РП</i>	<i>Бытовая одежда</i>
подверженные изменению	<i>T18, T19, T7, T20, T47, T40, T43, T41, T28, T104, T50, T22, T31</i>
активно изменяющиеся	<i>T45, T19, T47, T40, T41, T43, T28</i>

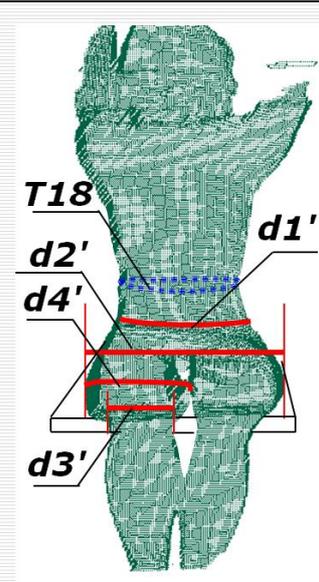
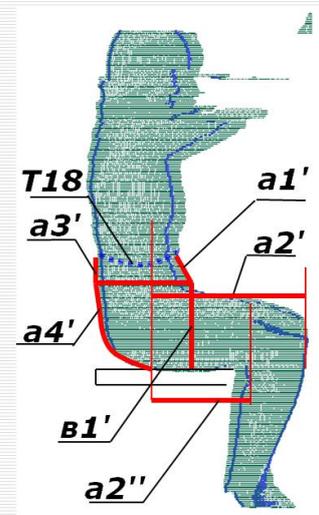
Для изучения влияния изменения размерных признаков в динамике на конструктивные параметры бытовой одежды составлена программа измерений размерных признаков в статике (табл. 6.5) и динамике (табл. 6.6).

Таблица 6.5 - Программа измерений женских фигур в статике

№ п/п	Условное обозначение	Описание измерения	Изображение
1	<i>d1</i>	Дуга между наивысшими точками гребня подвздошной кости	<p>Пунктирная линия – обозначает измерения фигуры сзади</p>
2	<i>d2</i>	Дуга на уровне подъягодичной складки спереди измеряется по поверхности тела	
3	<i>d3</i>	Дуга колена измеряется по поверхности через коленную точку	
4	<i>a1</i>	Длина от линии талии спереди до линии d1, измеряется по поверхности тела	
5	<i>a2</i>	Длина от линии колена до линии бедер по боковой поверхности	
6	<i>d4</i>	Дуга бедра	
7	<i>a3</i>	Длина от линии талии сзади до линии d1, измеряется по поверхности тела	
8	<i>d5</i>	Дуга на уровне подъягодичной складки сзади, измеряется по поверхности тела	
9	<i>a4</i>	Измеряется по поверхности тела от линии талии сзади до линии d5	

В качестве испытуемых выступали женщины в количестве 100 человек, относящихся к группе малых размеров с обхватом груди третьим в диапазоне 88-96 см, обхватом бедер - 92-106 см, ростом - 164-172 см. Проведена статистическая обработка результатов сканирования женских фигур в статике и динамике в основных выделенных позах, рассчитаны динамические эффекты в соответствии с программой измерений размерных признаков (*Приложение К, табл. К2 и К3*).

Таблица 6.6 - Программа измерений фигур в динамике

№ п/п	Условное обозначение	Описание измерения	Изображение
10	$d1'$	Дуга между наивысшими точками гребня подвздошной кости	
11	$d2'$	Дуга на уровне подъягодичной складки спереди измеряется по поверхности тела	
12	$d3'$	Дуга колена измеряется по поверхности через коленную точку	
13	$d4'$	Дуга бедра	
14	$a1'$	Длина от линии талии спереди до линии $d1$, измеряется по поверхности тела	
15	$a2'$	Расстояние от линии колена до линии бедер по верхней поверхности	
16	$a2''$	Расстояние от линии колена до линии бедер по нижней поверхности	
17	$a3'$	Длина от линии талии сзади до линии $d1$, измеряется по поверхности тела	
18	$d5'$	Длина на уровне подъягодичной складки сзади измеряется по поверхности тела	
19	$a4'$	Дуга по поверхности тела от линии талии сзади до линии $d5$	
20	$b1'$	Высота бедра	

В результате проведенного 3D сканирования женских фигур без одежды и в проектируемой одежде (по методикам МГУДТ, ЕМКО СЭВ,

ЦОТШЛ, «Мюллер и сын», Ф. Бурго) установлены значения заданных конструктивных параметров на основе совмещения виртуальных 3D динамических моделей (рис. 6.13).

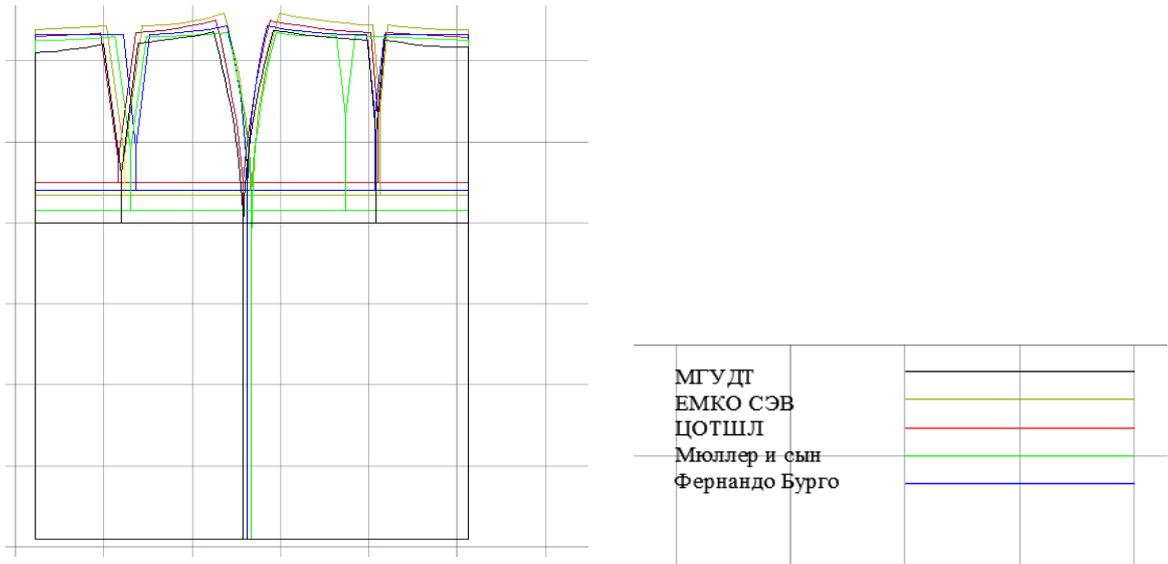


Рисунок 6.13 – Схемы чертежей деталей базовых конструкций юбок

При проектировании макетов юбок динамические эффекты учитывались следующим образом:

- ❖ Значения прибавки к полуобхвату талии **П18** изменялись в пределах 0,5-1,5 см с интервалом варьирования 0,5 см, при постоянном **П19**, равном 1,5 см по данным анализа моделей-аналогов.
- ❖ Значения прибавки к полуобхвату бедер **П19** изменялись в пределах 0,5-2,0 см с интервалом варьирования 0,5 см, при постоянном **П18**, равном 1,0 см по данным анализа изделий-аналогов.
- ❖ Суммарный раствор вытачек определялся как разность размеров юбки по линиям бедер и талии и распределялся в соответствии с рекомендациями используемых методик конструирования.

Для установления оптимальных параметров конструкции женской юбки, обеспечивающих высокий уровень функционирования системы «Человек-Одежда в динамике» использован полный факторный эксперимент, отражающий совокупность нескольких измерений, удовлетворяющих следующим условиям: количество измерений составляет $2n$, где n – количество факторов; каждый фактор принимает только два значения –

верхнее и нижнее; в процессе измерения верхние и нижние значения факторов комбинируются во всех возможных сочетаниях. Преимуществами полного факторного эксперимента являются: простота решения системы уравнений оценивания параметров; статистическая избыточность количества измерений, которая уменьшает влияние погрешностей отдельных измерений на оценку параметров.

В качестве параметров оптимизации использованы следующие показатели динамического соответствия: степень перемещения низа изделия, размах движений бедер одетого человека в положении приседания, величины проекционных зазоров на участках поверхности фигуры человека в области бедер и талии, в результате чего установлены оптимальные величины и характер распределения основных конструктивных прибавок для базовой конструкции юбки (табл. 6.7)

Таблица 6.7 - Оптимальные величины основных конструктивных параметров для базовой конструкции юбки

№ п/п	Участок	Рекомендуемый диапазон прибавок	% распределение
<i>Уровень талии</i>			
1	Фронтальная поверхность	0,4-1,5	10-15
2	Боковая поверхность		70
3	Задняя поверхность		20-25
<i>Уровень бедер</i>			
1	Фронтальная поверхность	1,15-2,8	30-35
2	Боковая поверхность		15-25
3	Задняя поверхность		45-50

В соответствии с описанным алгоритмом реализации предложенной методики корректировки конструктивных параметров одежды в соответствии с эргономическими показателями динамического соответствия формируется база данных варьирования различных конструктивных параметров изделий в зависимости от выбранного назначения изделия и характера прогнозируемой динамики при эксплуатации одежды. База данных варьирования конструктивных параметров деталей одежды в динамике может быть использована в САПР для выбора оптимальные сочетания конструктивных параметров, обеспечивающих наилучшее статическое и динамическое соответствие системы «Человек-Одежда».

6.3. Особенности проектирования головных уборов с помощью данных 3D сканирования

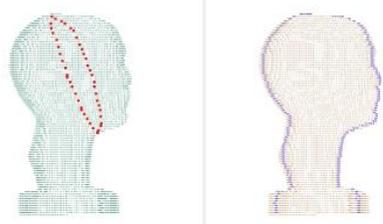
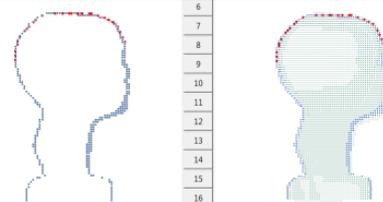
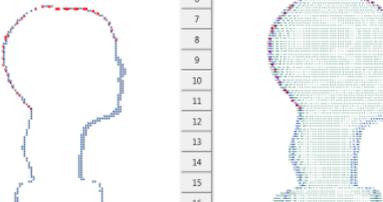
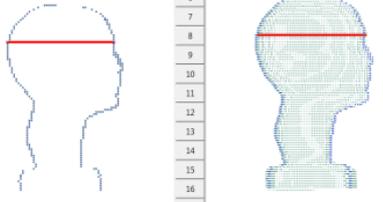
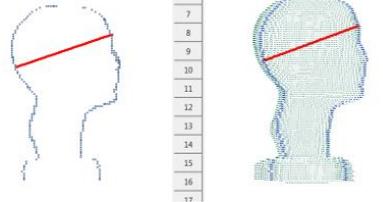
Использование автоматизированных систем для 3D проектирования головных уборов способствует повышению качества выпускаемой продукции, так как уже на этапе создания конструкции можно визуализировать 3D образ изделия, оценить форму и положение линии присада головного убора, качество посадки, выбрать способ технологической обработки с учетом свойств используемых материалов [269]. Для проектирования формы головного убора в 3D САПР предлагается выполнить следующие действия:

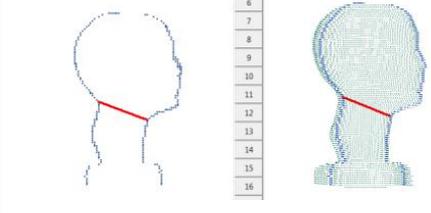
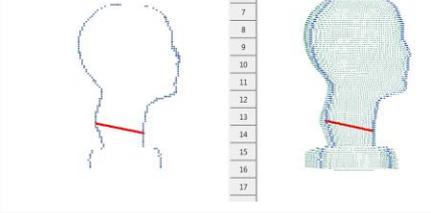
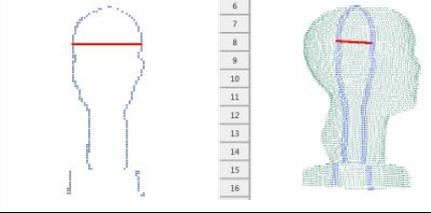
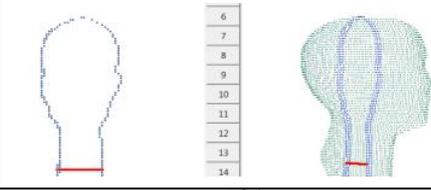
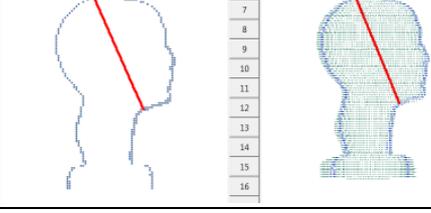
- 1) задать исходную информацию в виде антропометрических параметров головы (или 3D модели внешней формы головы), пространственные зазоры (или проекционные прибавки) по линии присада головного убора;
- 2) сформировать 3D линию присада вокруг виртуального манекена головы;
- 3) задать форму головного убора с помощью графических инструментов в соответствии с эскизом;
- 4) нанести линии членений на 3D модель головного убора;
- 5) выполнить развертку 3D внешней формы изделия;
- 6) аппроксимировать контуры шаблонов деталей;
- 7) построить комплект лекал с учетом свойств материалов и особенностей технологической обработки.

Разработанная система 3D сканирования позволяет получить достоверную исходную информацию о форме поверхности головы в цифровом трехмерном формате и в рамках любого перечня размерных признаков, выбранных для разработки модельных конструкций головных уборов. Основные размерные признаки, характеризующие форму

поверхности головы и необходимые для проектирования манекена типовой головы и изготовлении форм-колодок, представлены в таблице 6.8.

Таблица 6.8 – Способ измерения размерных признаков (РП) головы

№	Наименование РП	Определение РП	Изображение РП
1	2	3	4
1	Обхват головы горизонтальный	Периметр головы, измеренный в горизонтальной плоскости, проходящей через затылочную и надбровные дуги	
2	Обхват головы вертикальный	Периметр головы, измеренный в наклонной плоскости, проходящей через верхушечную точку и верхнюю шейную точку спереди	
3	Дуга передне-задняя от уровня надбровных точек до шипа затылочного	Расстояние от уровня надбровных точек до шипа затылочного в средне-сагиттальной плоскости	
4	Дуга передне-задняя от уровня надбровных точек до верхней шейной точки сзади	Расстояние от уровня надбровных точек до верхней шейной точки сзади в средне-сагиттальной плоскости	
5	Дуга поперечная между височными точками через верхушечную точку	Расстояние между височными точками через верхушечную точку во фронтальной плоскости	
6	Диаметр передне-задний обхвата головы горизонтального	Проекционное расстояние между затылочной и надбровными точками в средне-сагиттальной плоскости	
7	Диаметр передне-задний обхвата головы наклонного	Проекционное расстояние между высшей точкой лба и шипом затылочным в средне-сагиттальной плоскости	

Продолжение таблицы 6.8.			
1	2	3	4
8	Диаметр передне-задний обхвата шеи по верхней границе	Проекционное расстояние между верхними шейными точками сзади и спереди в средне-сагиттальной плоскости	
9	Диаметр передне-задний обхвата шеи по нижней границе	Проекционное расстояние между нижними шейными точками сзади и спереди в средне-сагиттальной плоскости	
10	Диаметр поперечный обхвата головы горизонтального	Наибольшее проекционное расстояние на уровне надбровных точек в горизонтальной плоскости	
11	Диаметр поперечный обхвата шеи по нижней границе	Проекционное расстояние между нижними шейными точками сбоку в горизонтальной плоскости	
12	Диаметр обхвата головы вертикального	Проекционное расстояние между верхушечной точкой и верхней шейной точкой спереди в средне-сагиттальной плоскости	

С помощью *3D* сканирования может быть получена информация как о форме поверхности головы человека, так и о внешней форме головного убора (рис. 6.14), определены прибавки на различных участках конструкции, построены сечения в любых плоскостях.

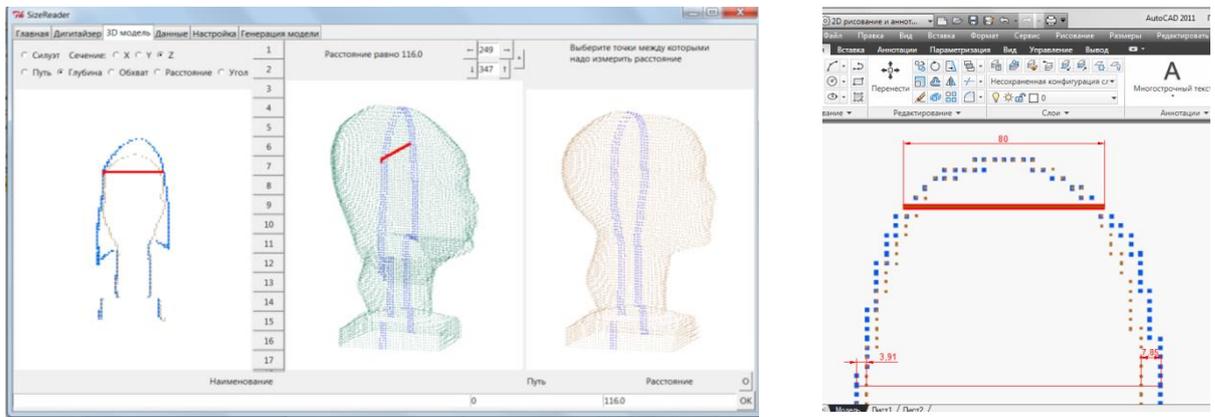
Конструктивные прибавки головных уборов можно определить путем сопоставления *3D* моделей головы индивидуального потребителя или виртуального эталона головы (рис. 6.15, а) и головного убора, надетого на человека, в горизонтальной, фронтальной и сагиттальной плоскостях на заданных уровнях под разным углом зрения, что особенно важно при проектировании асимметричных моделей и сложных форм, с переменным радиусом кривизны на различных участках конструкции изделий.

*a**б*

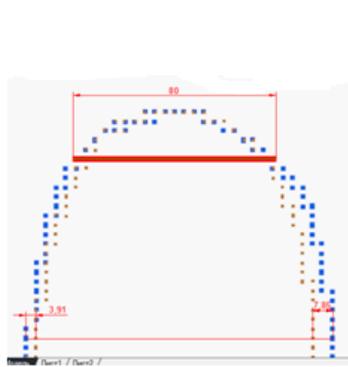
Рисунок 6.14 – Эталон женской головы: *a* - без головного убора; *б* - в головном уборе

Определение величин проекционных зазоров между поверхностью головного убора и головы на разных уровнях для расчета конструктивных прибавок представлено на рисунке 6.15 (б, в, г).

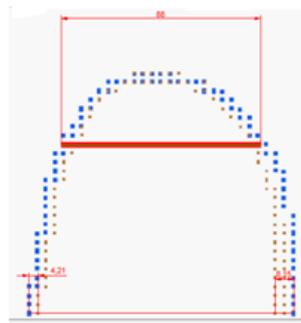
При исследовании горизонтальных сечений внешней формы изделия выявлено, что головной убор неравномерно прилегает к голове на разных участках конструкции, что свидетельствует о возможности усовершенствования качества посадки проектируемых изделий на головах индивидуальных потребителей. Разработанная технология 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. Технология 3D сканирования позволяет получить достоверную информацию о взаимосвязи параметров поверхности головы или шляпной болванки с макетами головных уборов или готовыми изделиями.



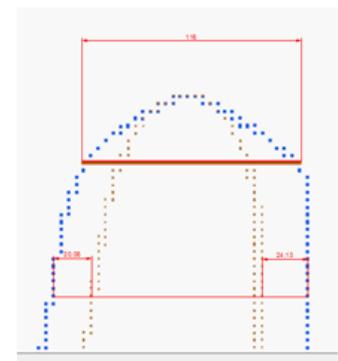
a



б



в



г

Рисунок 6.15 – Анализ внешней формы эталона головы и головного убора: а – совмещение отсканированных сечений головы-эталона и головного убора; б – по линии роста волос; в – на уровне надбровных дуг; г – на уровне нижней челюстной точки

Так, экспорт 3D модели головы из системы 3D сканирования в универсальную САПР *SolidWorks* позволяет получить виртуальный манекен (рис. 6.16 а, б), без выполнения дополнительных расчетов. Наличие поверхностного моделирования в *SolidWorks* обеспечивает гибкий подход к процессу проектирования головных уборов, поскольку поверхности объекта при моделировании могут быть самостоятельно позиционированы в пространстве и не требуют первоначальной точной взаимной геометрической увязки, поэтому построение формы головного убора производится на опорной поверхности относительно линии присада (рис. 6.16, в).

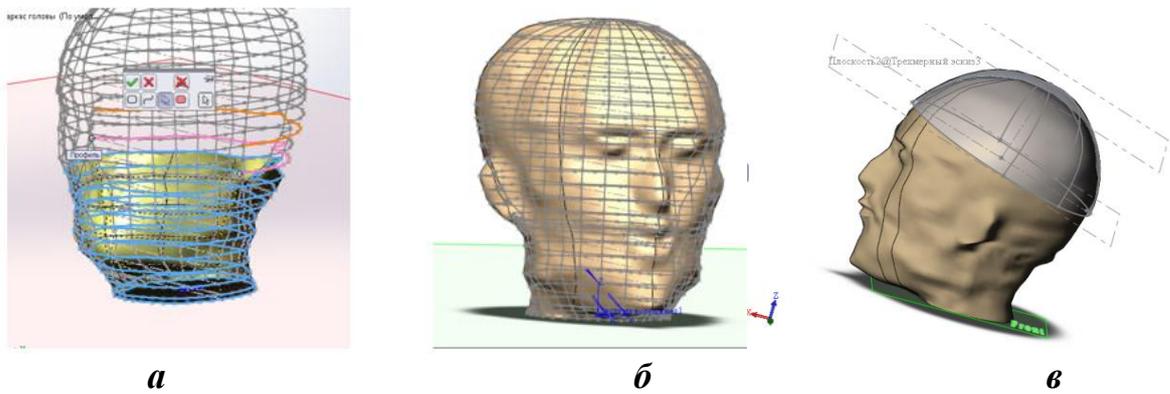


Рисунок 6.16 - 3D проектирование в САПР *SolidWorks*: а – каркас манекена головы; б – тонированное изображение; в – формирование внутренней поверхности головного убора относительно линии присада

Форма головного убора может проектироваться различными методами: созданием вытянутой поверхности при изменении угла наклона и формы (рис. 6.17, а); моделированием формы по сечениям с помощью графических примитивов (сплайн, окружность, эллипс) (рис. 6.17, б); созданием замкнутого или не замкнутого профиля вдоль оси (рис. 6.17, в).

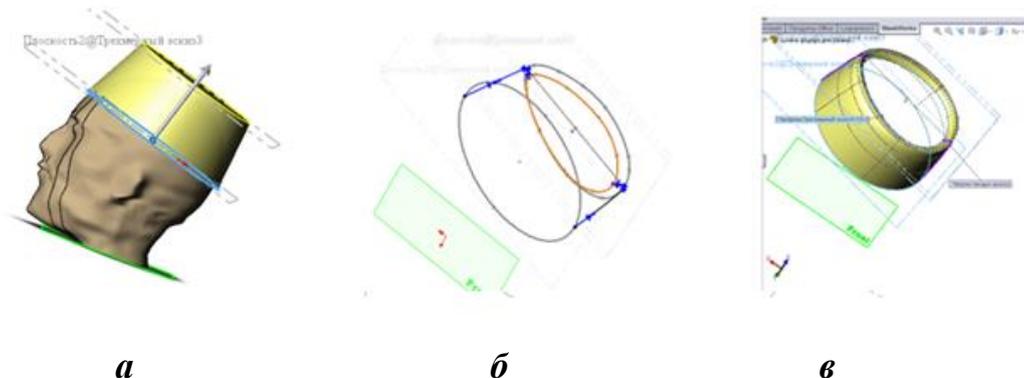


Рисунок 6.17 - Проектирование 3D формы головного убора в САПР *SolidWorks*: а – создание поверхности изменением формы и угла наклона; б – сечения головного убора; в – поверхность головного убора

Наиболее сложным этапом 3D проектирования является создание виртуального прототипа изделия с учетом взаимосвязанных факторов системы «Форма-Конструкция-Материал» для отображения в материале заданной объемной формы объекта с образованием гладкой или складчатой поверхности. Поверхность тульи целесообразно оформлять вытягиванием опорной линии присада и заполнением доньшка поверхностью (рис. 6.18, а), поля удобно моделировать набором команд для вытяжки поверхности, поверхности по сечениям и т.п. (рис. 6.18, б).

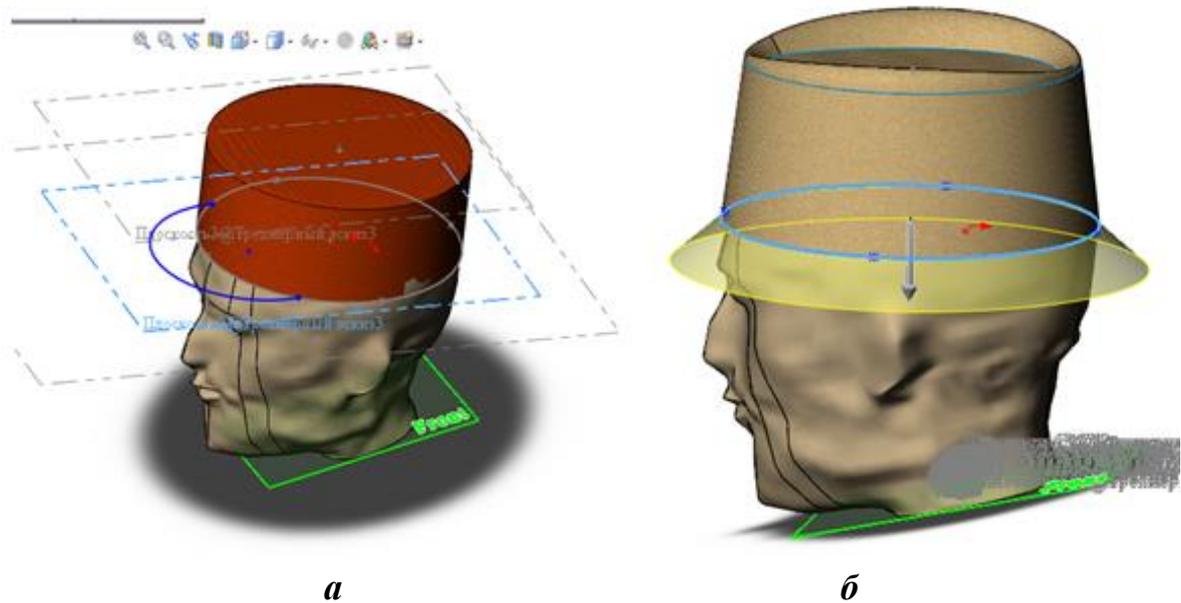


Рисунок 6.18 - Проектирование 3D формы деталей головного убора: *a* – головки и козырька, *б* – полей

Моделирование и развёртывание деталей головного убора могут осуществляться в графической среде таких САПР, как *SolidWorks* или 3D САПР *Rhinoceros*, а затем экспортироваться в универсальные САПР для разработки проектно-конструкторской документации.

Таким образом, внедрение инновационных технологий и виртуального 3D проектирования способствует совершенствованию традиционного конструирования головных уборов и разработке новых изделий, в большей степени подходящих потребителям, так как появляется возможность учитывать индивидуальные запросы. Макетирование в 3D позволит увеличить сменяемость новых изделий, оперативно реагировать на запросы потребителей и повысить конкурентоспособность продукции.

6.4. Совершенствование метода проектирования манекенов фигуры человека, шаблонов внешней и внутренней формы одежды, оборудования ВТО

В качестве традиционных средств задания или проверки пространственной формы швейных изделий используются манекены различных видов: манекены типовой фигуры человека - для конструирования и оценки качества посадки готовой одежды, манекены внутренней формы

одежды - для производства швейных изделий методом формования, манекены внешней формы одежды - для окончательной влажно-тепловой обработки (ВТО), виртуальные манекены - для проектирования одежды в *3D* среде. 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; определять координаты информационных точек, влияющих на изменение внешней формы поверхности фигуры или одежды. Технология *3D* сканирования обеспечивает достоверное *3D* отображение внешней формы фигуры человека или одежды в виде облака точек, точное определение любых параметров поверхности, а также экспорт полученных данных в САПР одежды для проектирования заданных *3D* объектов.

С помощью *3D* сканирования фигуры человека можно получить следующую исходную информацию для проектирования виртуальных и материальных манекенов:

- координаты 3 млн. точек, с высокой точностью описывающих *3D* форму поверхности фигуры;
- расположение любых антропометрических точек;
- сечения объекта сложной пространственной формы в любой плоскости;
- конфигурации любых абрисов фигуры;
- дуговые размерные признаки;
- обхватные размерные признаки;
- проекционные размерные признаки;
- углы наклонов линий, образующих форму различных участков поверхности фигуры.

Информация, полученная *3D* сканированием, позволяет аппроксимировать данные точек поверхности для описания формы поверхности фигуры, например с помощью метода наименьших квадратов (рис. 6.19) и поверхности одежды, надетой на фигуру.

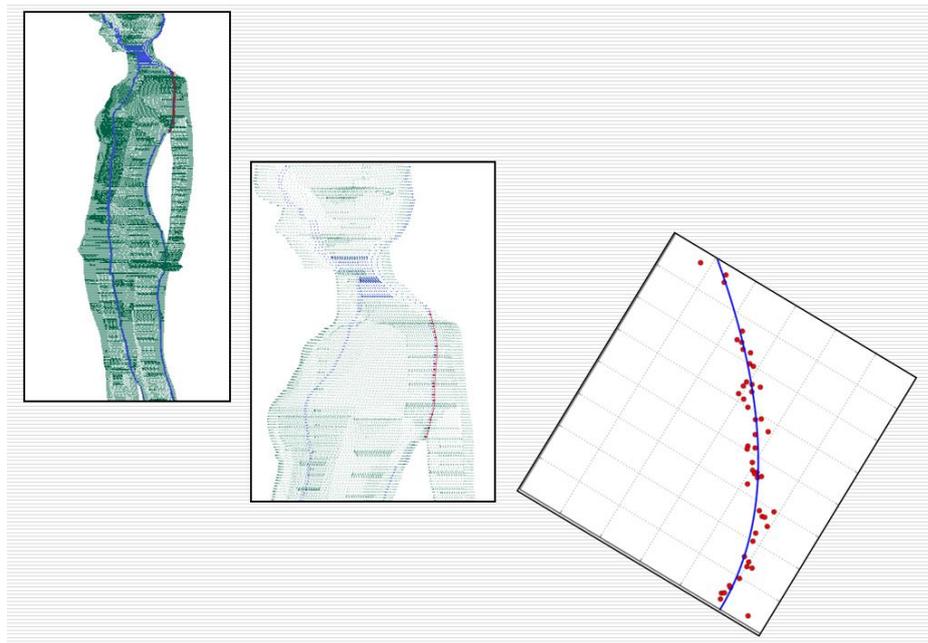


Рисунок 6.19 - Аппроксимация данных 3D сканирования

Первоначально при проектировании манекена индивидуальной фигуры осуществляется 3D сканирование и построение 3D модели фигуры человека (рис. 6.20).

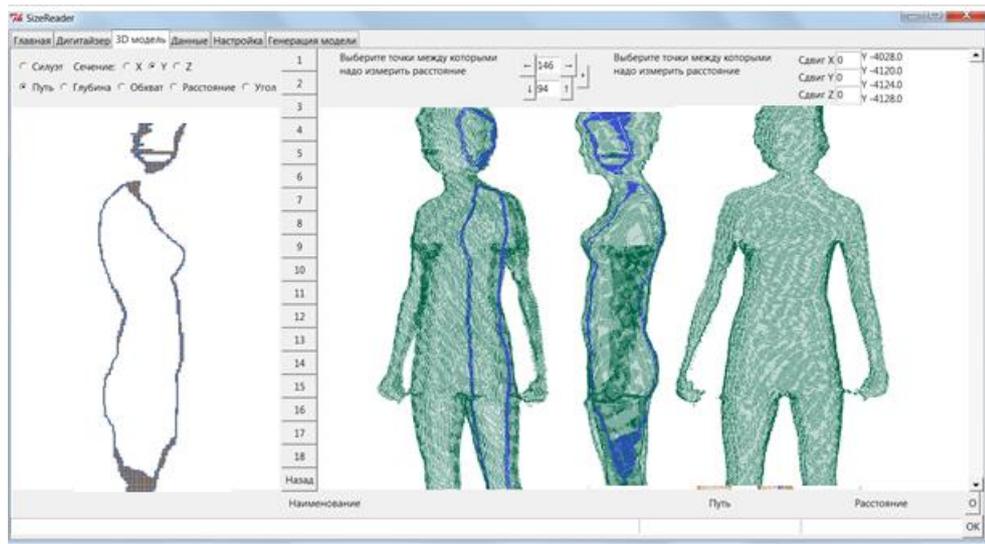


Рисунок 6.20 - 3D модель фигуры человека

Для дальнейшего проектирования манекена осуществляется построение каркасной модели, и экспорт каркасной и точечных моделей в графическую САПР (рис. 6.21). Для проектирования манекена внутренней формы верхней одежды поверхность фигуры человека должна быть скорректирована в сторону увеличения на толщину пакета и припусков на свободное облегание.

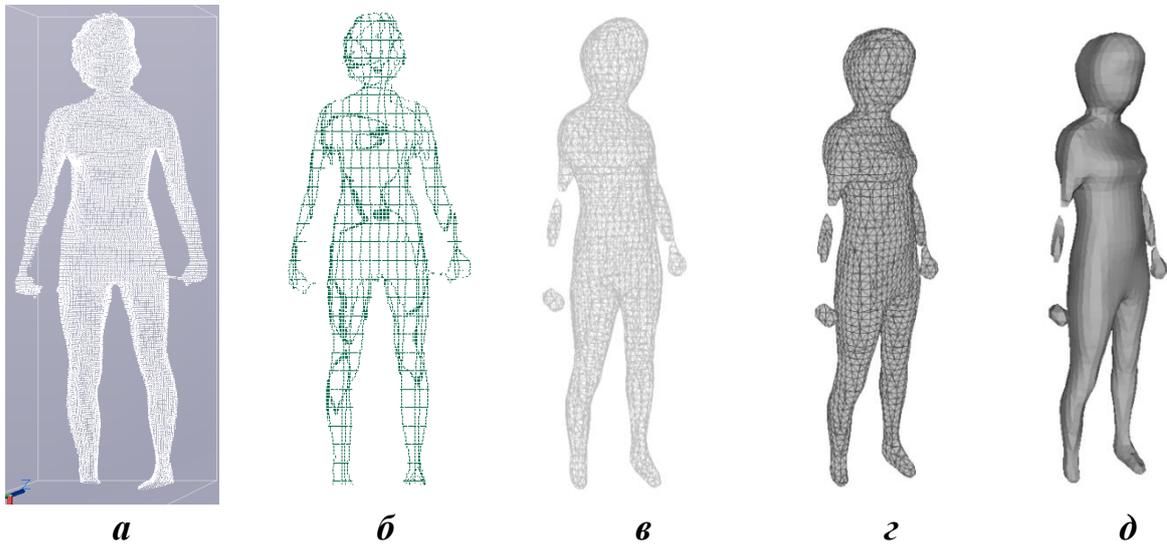


Рисунок 6.21 - 3D модель фигуры человека: а - дискретная точечная, б – каркасная, в – полигональная, г – поверхностная, д – твердотельная

В свою очередь манекены для изготовления корсетно-бельевых изделий должны корректироваться с учетом деформации тела и отрицательных конструктивных прибавок, при этом внешняя форма одной и той же фигуры может радикально изменяться благодаря корсетным изделиям (рис. 6.22).

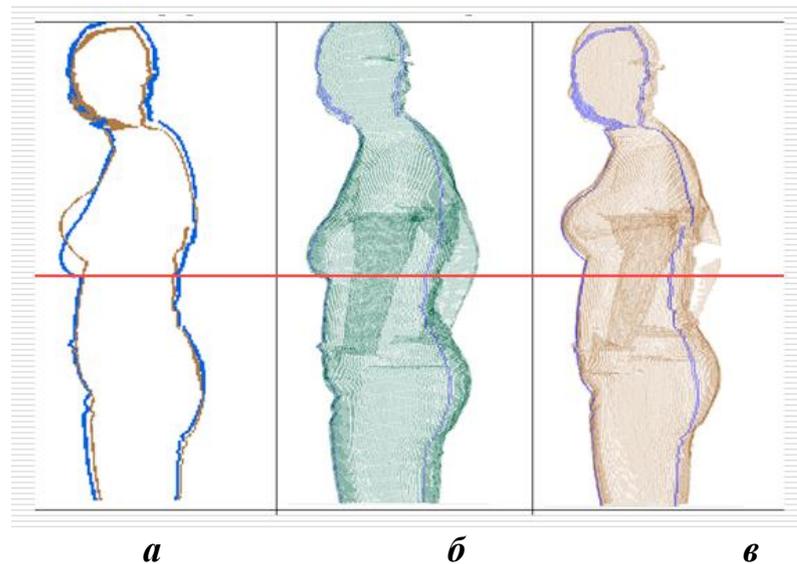


Рисунок 6.22 - Внешняя форма фигуры: а - совмещённые сечения 3D моделей обнажённой фигуры и фигуры в бюстгальтере; б - 3D модель обнаженной фигуры; в - 3D модель фигуры в бюстгальтере

В результате обобщения опыта проектирования, изготовления и эксплуатации манекенов, накопленного в МГУДТ, СПбГУТД, ИГТА определены основные требования к манекенам (табл. 6.9).

**Таблица 6.9- Требования к проектируемым материальным манекенам
для одежды**

Требования	Содержание требований
Функциональные	Соответствие формы поверхности манекена основной целевой функции
Эргономические	Типовые манекены: Соответствие принятой для одежды типологии фигур Индивидуальные: соответствие форме поверхности индивидуальной фигуры Наличие минимально необходимых припусков на свободное облегание Наличие минимально необходимых отрицательных припусков на утягивание
Эксплуатационные	Стабильность размеров и формы Устойчивость поверхности к механическому воздействию Минимальная масса
Технологические	Гладкость поверхности, Сопряженность различных участков поверхности Использование технологии прототипирования (3D печати)

Методика проектирования шаблонов фигуры человека, внешней и внутренней формы одежды, манекенов и пресс-форм для оборудования ВТО основана на принципах геометрического моделирования объектов сложных объёмных форм, данных о внешней форме исходной поверхности, полученные 3D сканированием исходного объекта, структура которых представлена на рисунке 6.23.



Рисунок 6.23 - Структура БД для проектирования внешней формы поверхности в 3D САПР

Последовательность проектирования шаблонов фигуры человека, внешней и внутренней формы одежды, манекенов и пресс-форм для оборудования ВТО может быть представлена следующими действиями:

- ✓ Формулировка требований к проектируемому изделию сложной формы.
- ✓ 3D сканирование поверхности исходного объекта.
- ✓ Виртуальное отображение и описание пространственной формы поверхности.
- ✓ Построение 3D модели объекта сложной формы.
- ✓ Измерение размерных характеристик и иных заданных параметров поверхности.
- ✓ Корректировка полученных параметров для формирования внешней формы проектируемого изделия.
- ✓ Построение 3D модели внешней формы проектируемого изделия в САПР.

При создании 3D моделей проектируемых манекенов, форма которых подобна исходной отсканированной поверхности, можно использовать аффинные преобразования для множества точек поверхности, представленного в однородных координатах в виде сдвига, поворота, растяжения (сжатия), растяжения (сжатия) с перекосом и без перекоса.

В ходе промышленной апробации системы 3D сканирования для создания материального манекена индивидуальной фигуры была получена 3D модель женской фигуры, выделены основные силуэтные абрисы индивидуальной фигуры (рис. 6.24, а, б). По заданным прибавкам на свободу облегания скорректирована форма фигуры для создания манекена внутренней формы одежды, выделен набор абрисов для проведения в промышленных условиях процедуры вырезания проектируемого манекена из формованного блока пенопласта на станке СРП-3000 по 38 вертикальным контурам с помощью нитей накаливания (рис. 6.24, в). Таким образом, для проектирования специализированных промышленных манекенов следует

дифференцировать их по назначению, виду отображаемой поверхности, способу представления[273].

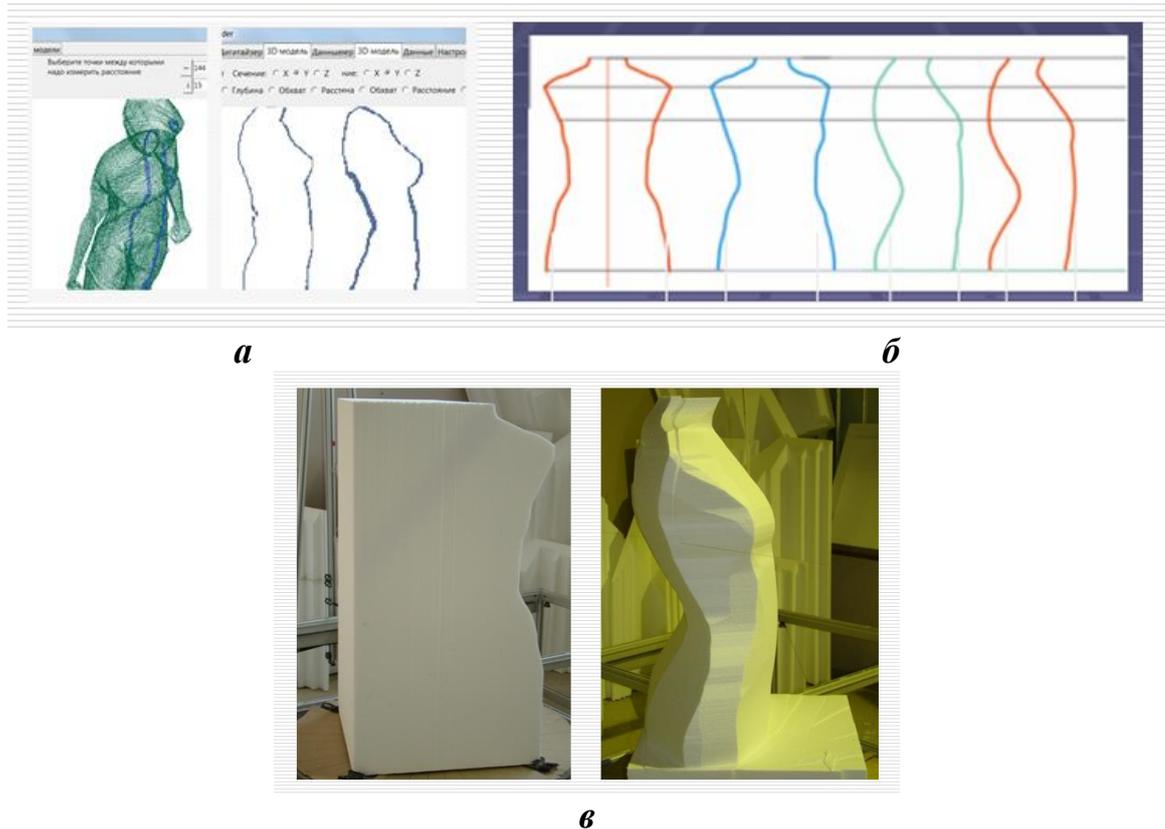


Рисунок 6.24 - Проектирование индивидуального манекена: а – 3D модель; б – набор абрисов фигуры; в – вырезание манекена из пенопласта

Существующий уровень развития современных технологий позволяет отойти от минимизации необходимого для производства количества промышленных манекенов, так как технологии 3D сканирования и 3D печати обуславливают возможность быстрого и экономичного изготовления материальных манекенов для швейного предприятия.

Проектирование изделий специального назначения.

Разработан подход к проектированию изделий специального назначения, таких как корректирующие корсеты, вкладыши для выпрямления осанки, ортопедические изделия для людей с ограниченными возможностями и людей с нарушениями осанки, на основе 3D сканирования [516]. До настоящего времени такие изделия изготавливались методом вакуумной формовки из полимерных материалов по скульптурному слепку участка поверхности тела человека, толщина которого могла вызывать

искажения передаваемой формы и дискомфорт у потребителей. Технология 3D сканирования позволяет получить цифровые данные о форме поверхности фигуры человека и экспортировать их в универсальную САПР одежды для создания виртуальной 3D модели корректирующего вкладыша в корсетное изделие при (рис. 6.25).

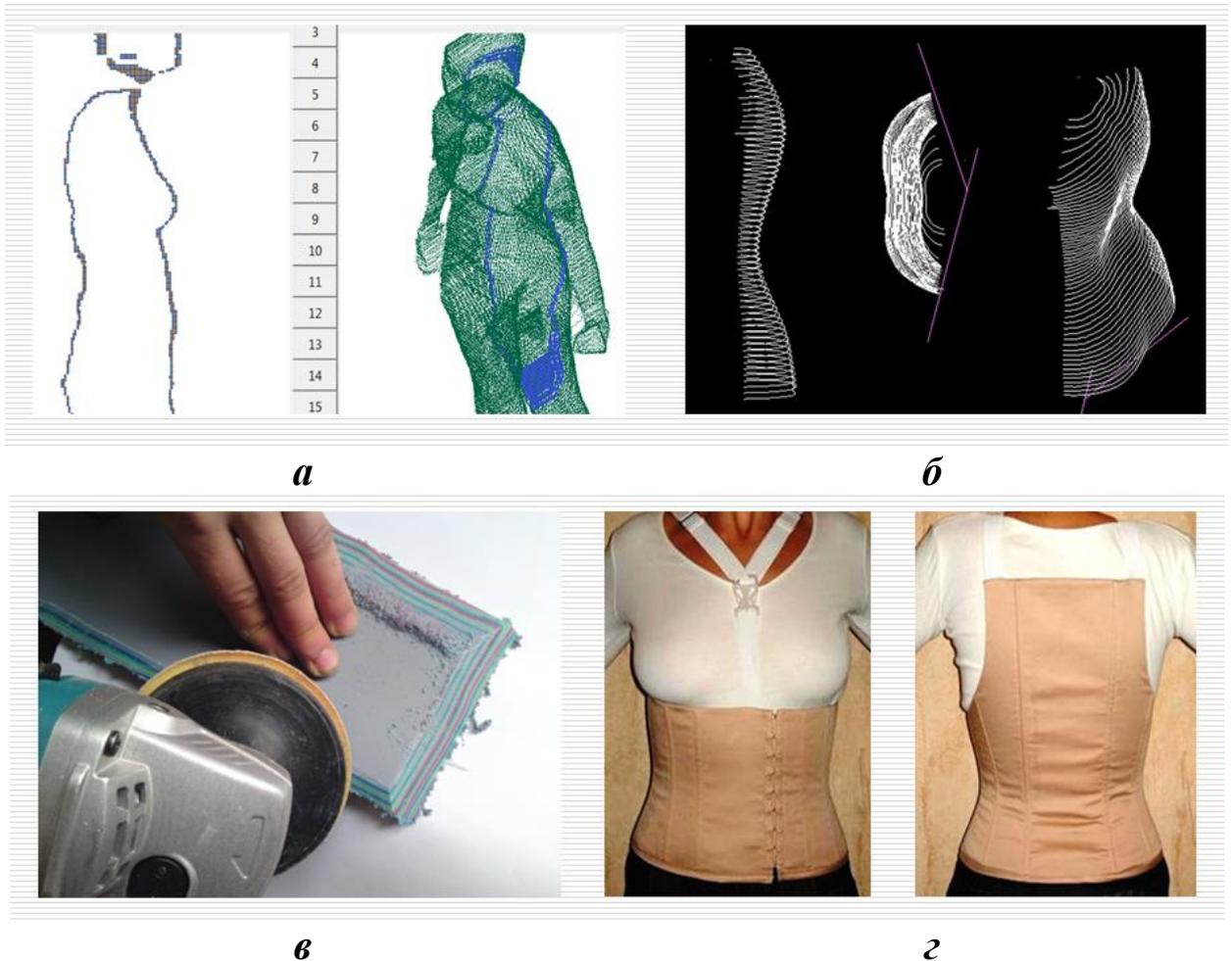


Рисунок 6.25- Проектирование вкладыша в корсет для исправления осанки: а – нарушения осанки, определённые с помощью 3D сканирования; проектирование формы корректирующей вкладыша; в- изготовление вкладыша; г- внешний вид корсета со вкладышем в области позвоночника

3D физическая модель вкладыша может быть изготовлена с применением оборудования 3D печати из полимерных материалов по виртуальной 3D модели путём наращивания к первичной форме слоёв различного цвета определённой толщины. Окончательная подгонка индивидуального изделия осуществляется путем вырезания контуров заданных участков поверхности типовой или индивидуальной 3D модели

изделия, при этом толщина корректирующего изделия может варьироваться путем удаления или наращивания слоев заданной толщины. 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.

6.5. Перспективы развития систем трехмерного сканирования

Благодаря реализованной концепции открытости разработанного программного обеспечения технологии *3D* сканирования можно модифицировать задачи, ставящиеся перед виртуально-измерительным комплексом, и форму получаемых решений.

Усовершенствование разработанных автором систем *3D* сканирования осуществляется в области повышения точности распознавания сложных пространственных форм, содержащих складки, драпировки и т.п., благодаря использованию лазерных проекторов в качестве устройств, считывающих информацию о поверхности даже в так называемых «темных зонах» (рис. 6.26). По сравнению с западными аналогами отечественная разработка позволяет ускорить считывание информации несколькими устройствами, расположенными неподвижно, в течение времени до 1 сек. Принципиальная схема размещения лазерных излучателей в проектируемой стационарной системе *3D* сканирования представлена на рисунке 6.27.

Прототип измерительного комплекса состоит из серийно-выпускаемого цифрового оборудования и разработанного программного обеспечения и проходит стадию экспериментальных испытаний на кафедре «Художественное моделирование, конструирование и технология изготовления швейных изделий» МГУДТ.

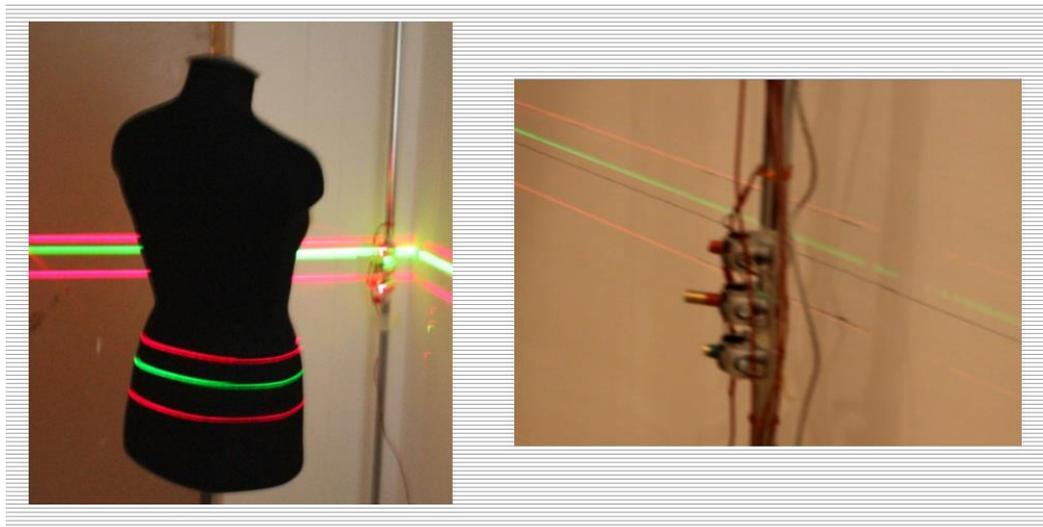
*a**б*

Рисунок 6.26 - Задание линий сечений на поверхности измеряемых объектов: а – манекен с нанесенными линиями сечений; б- лазерные излучатели

В состав системы 3D сканирования входят: 1) 3 камеры, расположенных под углом 60° к друг другу; 2) платформа для фигуры; 3) лазерные проекторы; 4) дистанционно управляемая система синхронизации работы оборудования; 5) компьютер и монитор.

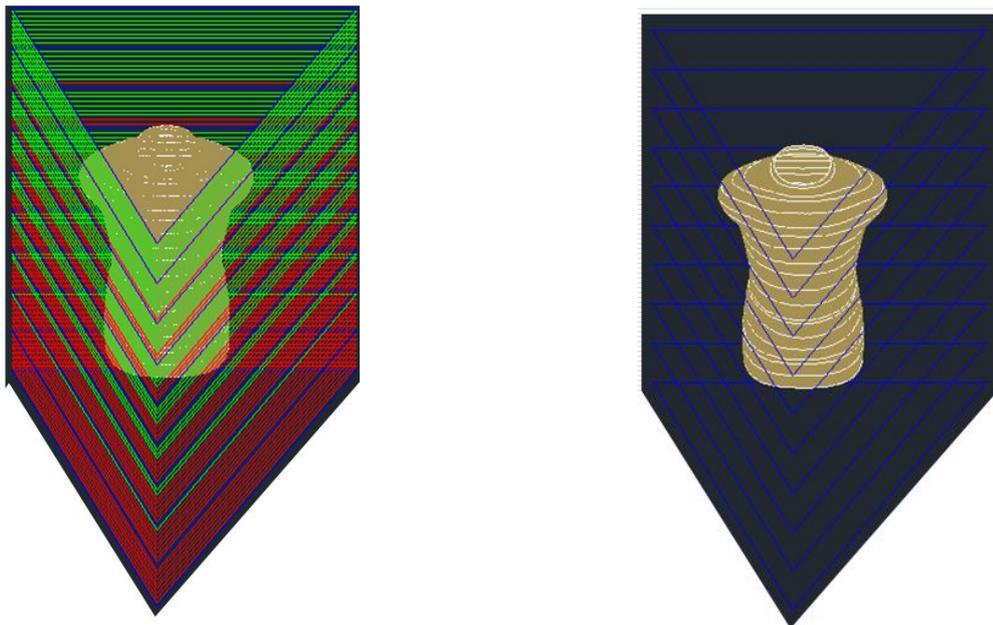
*a**б*

Рисунок 6.27 - Принципиальная схема лазерной системы 3D сканирования: а - включены все лазерные излучатели; б - включены только синие лазеры.

Технические характеристики проектируемой системы позволяют повысить качество оцифровки объектов особенно сложных

пространственных форм, таких как одежда свободного силуэта сложных покровов из материалов повышенной драпируемости.

С технологической позиции представленные в диссертации системы 3D сканирования позволяют в автоматическом режиме реализовать комплекс процедур, необходимый для осуществления продаж швейных изделий через удаленные каналы связи: 3D сканирование фигуры человека; измерение размерных признаков; визуализацию 3D модели; подбор и выдачу рекомендаций по выбору и приобретению одежды, соответствующей размерным характеристикам потребителя. Разработанный алгоритм можно адаптировать под запросы той или иной группы потребителей, например, с различными возрастными характеристиками или под различные регионы, что особенно важно для компании, чья сеть располагает магазинами на территории всей России. На основе предложенной в диссертационной работе методологии оценки качества проектных решений одежды и технологии 3D сканирования разработан способ проведения виртуальной примерки для выбора одежды, подходящей потребителю, который включает в себя:

- ✓ последовательное обращение заинтересованного лица (потенциального покупателя или специалиста) к системе баз данных исходной информации (антропометрической информации, классификационных характеристик особенностей телосложения, эскизных решений, свойств одежды в зависимости от ассортимента);
- ✓ обращение к базам данных оперативной информации, содержащих рекомендации о рациональном сочетании выбранных параметров как потребителя, так и изделия;
- ✓ анализ соответствия антропометрических и конструктивных параметров и выбор подходящих по внешней форме изделий из промышленной коллекции изделий в автоматизированном режиме.

Способ проведения виртуальной примерки для выбора одежды, подходящей потребителю, опирается на систему баз данных,

сформированную на основе индустриальной парадигмы, представленной в п. 2.4, и содержащую следующие элементы (рис. 6.28):

- *Исходная информация о потребителе*, включая данные о размерных признаках и форме поверхности, аккумулированные в виде виртуальных 3D манекенов, отражающих параметры фигуры, особенности пропорций и телосложения, форму отдельных частей тела.
- *Исходная информация об изделии*, включая данные о внешнем виде, конструктивных параметрах и решениях одежды, о свойствах используемых материалов, аккумулированные в виде виртуальных 2D и 3D моделях изделий.
- *Оперативная информация*, включая критерии оценки антропометрического соответствия одежды, соответствия проектного решения замыслу дизайнера, воплощенному в техническом эскизе и др.
- *Персональная информация*, включая данные о фигуре и предпочтениях отдельного человека, используемая как потребителем для осуществления успешных покупок, так и производителем для формирования персонального предложения продукции предприятия, способствующего росту продаж выпускаемой одежды.

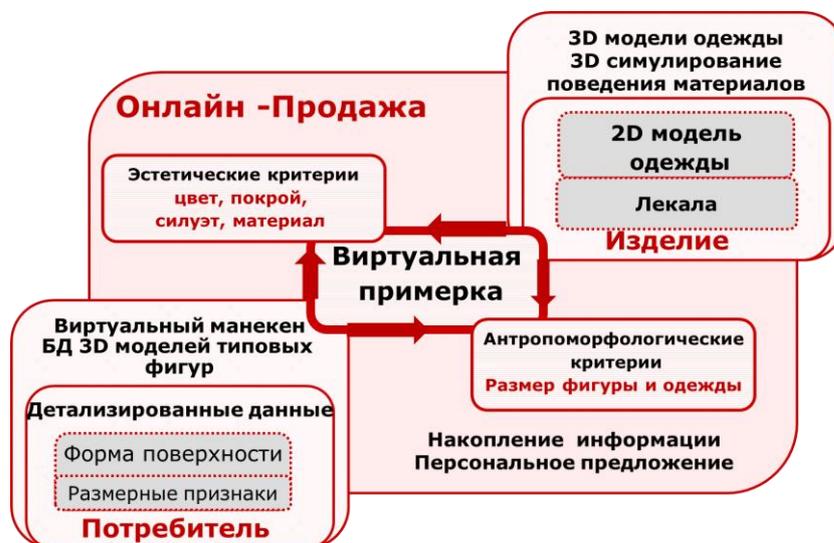


Рисунок 6.28 - Способ проведения виртуальной примерки для выбора одежды, подходящей потребителю

Промышленная апробация метода оценки проектных решений швейных изделий, полученных в виртуальной среде САПР одежды в

условиях швейного предприятия ООО «Т-Логист» (г.Москва) показала, что технология 3D сканирования обеспечивает возможность количественной оценки соответствия внешней формы 3D модели проектируемого изделия замыслу дизайнера, выраженному в эскизе, и проведения виртуальной примерки проектируемого изделия, то есть подтверждена возможность использования систем 3D сканирования в качестве инструментария объективной оценки качества виртуальных проектных решений одежды. Отмечена целесообразность введения дополнительной 3D кодировки швейных изделий для обеспечения возможности оперативного выбора модели одежды, соответствующей фигуре потребителя, находящегося в другом городе или стране. Тем не менее, нерешенными остаются вопросы представления структуры и текстуры материалов и реалистичного симулирования их поведения в одежде, что предполагает дальнейшее совершенствование технологии 3D сканирования (акт *Приложения Л*).

В рамках промышленного использования технологии 3D сканирования был предложен и практически реализован в условиях ООО «Трикотажлюкс» метод подбора потенциальными розничными покупателями соразмерной одежды из промышленной коллекции, представленной на сайте предприятия. По данным департамента онлайн-продаж ООО «Трикотажлюкс» установлено, что маркировка трикотажных изделий, которые приобретают женщины, ориентируясь на собственное представление о своей фигуре, неизменно отличается от фактических размерных признаков их фигуры. Наибольшие трудности при выборе и покупке трикотажной одежды испытывают женщины больших размеров, так как при покупке заказывают одежду в среднем на один-два размера меньше требуемых. По желанию клиентов Московского региона в офисе компании проводилось однократное 3D сканирование индивидуальных фигур, которым присваивался идентификационный код фигуры. В соответствии с онлайн-запросом расширенного поиска моделей определенных размеров клиенту автоматически представлялись для выбора модели изделий, в большей

степени подходящих по размеру конкретной индивидуальной фигуре, с представлением широкой цветовой палитры и разнообразных конструктивных и сырьевых решений. В основе автоматического отбора изделий из промышленной коллекции лежала оценка антропометрического соответствия 3D модели индивидуальной фигуры потребителя конструктивным параметрам образцов из базы данных 3D моделей трикотажной одежды предприятия.

Промышленная апробация технологии 3D сканирования показала повышение заинтересованности покупателей в интерактивном анализе нового ассортимента трикотажных изделий предприятия и в совершении заказов по доставке изделий для примерки. Основной проблемой онлайн-заказов одежды розничными покупателями являются высокие логистические издержки по доставке покупателям отобранных моделей для примерки вследствие отказа потенциальных потребителей от покупки, чаще всего вызванного неверной оценкой клиентов собственных размеров и соответственно ухудшением качества посадки изделия меньшего размера на более полной фигуре заказчика. Благодаря целенаправленному предложению потребителям моделей, соответствующих по размерным характеристикам, отмечено сокращение отказов от покупки и снижение логистических затрат на повторную доставку потребителю одежды корректных размеров. Применение метода подбора соразмерной одежды с помощью 3D сканирования позволило повысить объем продаж трикотажной одежды через департамент онлайн-продаж с 20% до 80% от количества доставляемых для очной примерки образцов моделей, выбранных из промышленной коллекции на сайте предприятия (акт *Приложения Л*).

Перспективность рекомендуемого практического использования разработанных систем 3D сканирования в качестве инструмента интерактивного дистанционного онлайн-подбора подходящей потребителю одежды была отмечена стратегическими партнёрами ОАО «Российская венчурная компания» и ООО «Венова» в результате внедрения опытного

образца мобильной системы 3D сканирования фигуры человека в процесс удалённой продажи одежды (интернет-магазин). Компанией «Венова» подтверждено намерение принять участие в проекте дальнейшего развития технологии 3D сканирования для вывода предлагаемого технологического решения на зарубежные рынки и отмечен высокий коммерческий потенциал реализации аппаратно-программного решения систем 3D сканирования в качестве примерочных кабин для интенсификации продаж швейных изделий через дистанционные каналы торговли (акт *Приложения Л*).

Существующий уровень развития информационных систем и мобильных приложений позволяет покупателю приобретать одежду в любой точке мира. Рост динамики покупок одежды через интернет во многом объясняется совершенствованием технологий онлайн-продаж и их доступностью благодаря развитию разнообразных приложений к мобильным техническим устройствам, таким как смартфоны, планшеты и т.д. При этом сдерживающим фактором глобального развития онлайн-продаж одежды является разнообразие национальных стандартов антропометрических измерений и маркировок размеров одежды. Решением проблемы идентификации размеров дистанционно выбираемой одежды является использование 3D моделей индивидуальных фигур для виртуального сопоставления с конструктивными параметрами изделий или их виртуальными 3D моделями, чему способствует развитие и внедрение в жизнь технологии 3D сканирования. 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.

Выводы по шестой главе:

1. Благодаря реализованной концепции открытости технологии *3D* сканирования конструктор швейных изделий может не ограничиваться перечнем типовых размерных признаков, а использовать любые антропометрические характеристики, полезные для создания или уточнения конструкции одежды.
2. Предложена методика определения конструктивных параметров проектируемой одежды с помощью *3D* сканирования для учета диапазона характерных движений, создания *3D* динамической модели фигуры человека и определения эргономических показателей динамического соответствия, которая была апробирована при проектировании специальной одежды для парашютистов и спортивной одежды для балльных танцев.
3. Разработана программа измерений размерных признаков в статике и динамике с помощью *3D* сканирования. Изучено влияние изменения размерных признаков в динамике на конструктивные параметры бытовой одежды на примере поясных изделий.
4. Предложен способ проектирования внешней формы головного убора в *3D* САПР с учетом антропометрических параметров головы и конструктивных и проекционных прибавок по линии присада, установленных с помощью *3D* сканирования.
5. 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.
6. Разработана последовательность проектирования шаблонов фигуры человека, внешней и внутренней формы одежды, манекенов и пресс-форм

для оборудования ВТО на основе *3D* сканирования, виртуального отображения и описания поверхности исходного объекта для автоматизированного создания внешней формы проектируемого изделия.

7. Предложен и апробирован способ проектирования манекенов внутренней формы одежды способом послойного *3D* моделирования, позволяющий отойти от минимизации необходимого для производства количества промышленных манекенов благодаря быстрому и экономичному изготовлению материальных манекенов для швейного предприятия с помощью технологий *3D* сканирования и *3D* печати.

8. Установлено, что для проектирования специализированных промышленных манекенов следует дифференцировать их по назначению, виду отображаемой поверхности, способу представления. 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.

9. Разработан подход к проектированию изделий специального назначения для людей с ограниченными возможностями и нарушениями осанки на основе *3D* сканирования, который позволяет повысить качество посадки и усилить корректирующий эффект швейных изделий благодаря персонализации изготовления изделий в соответствии с индивидуальной формой поверхности тела каждого потребителя.

10. Разработан прототип системы *3D* сканирования для распознавания особенно сложных пространственных форм швейных изделий из материалов повышенной драпируемости с использованием лазерных проекторов в качестве устройств, считывающих информацию о поверхности в «темных зонах».

11. Разработан способ проведения автоматизированной виртуальной примерки на основе *3D* сканирования для выбора готовой одежды, в большей степени подходящей потребителю, базирующийся на цифровой информации,

систематизированной в базах данных об антропометрических характеристиках потребителей, промышленной коллекции изделий, взаимосвязи между параметрами внешней формы фигуры человека и одежды.

12. Внедрение систем *3D* сканирования в производственный процесс обусловило возможность промышленного изготовления одежды на фигуры индивидуальных потребителей или по персональному заказу, виртуальной оценки качества проектных решений и виртуального представления промышленной коллекции для онлайн-продаж, способствующих повышению сбыта продукции и конкурентоспособности предприятия.

13. Промышленное внедрение систем *3D* сканирования для проектирования корпоративной одежды показало достоверность определения размерных характеристик, особенностей телосложения и топологии поверхности индивидуальных фигур; улучшение качества посадки фирменной одежды на сотрудниках корпораций и повышение удовлетворенности потребителей; сокращение издержек по подбору одежды из типовых вариантов и перерасходу материалов. Однако, при этом отмечено увеличение количества комплектов цифровых *2D* лекал и необходимость выполнения автоматизированного раскроя изделий одиночными полотнами, что увеличило затраты подготовительно-раскройного участка швейного производства.

14. Промышленная апробация технологии *3D* сканирования для проектирования фирменной и специальной одежды путем оцифровки фигур конкретных потребителей показала эффективность представления заказчику виртуальных *3D* моделей проектируемых изделий на заданных фигурах для ускорения дистанционной оценки внешней формы разработанных образцов и согласования внешнего вида проектируемой одежды в режиме удаленного доступа, что привело к повышению качества посадки изделий, удовлетворенности потребителей произведенной продукцией, росту продаж и эффективности швейного производства.

15. Промышленная апробация метода оценки проектных решений швейных изделий, полученных в виртуальной среде САПР одежды, показала, что технология *3D* сканирования обеспечивает возможность количественной оценки соответствия внешней формы *3D* модели проектируемого изделия замыслу дизайнера, выраженному в эскизе.

16. Отмечена целесообразность введения дополнительной *3D* кодировки швейных изделий для обеспечения возможности оперативного выбора модели одежды, соответствующей фигуре потребителя, находящегося в другом городе или стране.

17. Предложен и реализован в производственных условиях 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.

18. В результате внедрения опытного образца мобильной системы *3D* сканирования фигуры человека в процесс удалённой продажи одежды отмечен высокий коммерческий потенциал разработок в качестве инструмента интерактивного дистанционного онлайн-подбора подходящей потребителю одежды в рамках интернет-торговли.

19. Существующий уровень развития приложений к таким мобильным техническим устройствам, как смартфоны и планшеты, позволяет покупателю приобретать одежду в любой точке мира с помощью автоматизированной дистанционной идентификации соответствия

собственных антропометрических характеристик конструктивным параметрам выбираемой одежды, чему способствует развитие и внедрение в жизнь технологии *3D* сканирования.

20. 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.

Выводы по работе:

1. Разработана концепция проектирования внешней формы одежды, которая подразумевает возможность выбора, объединения, интеграции производителем различных модулей САПР одежды и традиционных способов проектирования в единую информационную цифровую среду благодаря сквозному или локальному применению технологии 3D сканирования и обеспечения поэтапного контроля за параметрами проектируемого изделия в виде эскиза, виртуальной модели, лекал или виртуального представления в промышленной коллекции на сайте производителя, способствующая 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, аккумулирующего в себе существующие математические зависимости между координатами эталонного и измеряемого объектов, основанного как на оптических, так и на лазерных считывающих устройствах, и базирующегося на преобразовании информации о цветовом содержании, геометрической форме или размерах используемых меток 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 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. Разработаны методы оценки соответствия координат точек в облаке *3D* моделей проектируемых и готовых изделий, виртуальных манекенов, эскизов, обеспечивающей математически корректное сопоставление поверхностей в пространстве, а также оценки антропометрического соответствия проектируемых швейных изделий параметрам заданных фигур в статике и в динамике; оценки проектных решений одежды по соответствию эскизу изделия; оценки достоверности представления *3D* модели изделия в процессе виртуального конструирования; определения корректного антропометрического расположения конструктивных членений в проектируемом изделии; объективной оценки внешней формы и качества посадки корсетно-бельевых 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.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Нормативно-правовые акты

1. Федеральный закон РФ от 26 июня 2008 г. N 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений»: (в ред. от 18.07.2011 N 242-ФЗ, от 30.11.2011 N 347-ФЗ, от 28.07.2012 N 133-ФЗ)
2. Стратегия развития легкой промышленности России на период до 2020 года/ Утв. Приказом Министерства промышленности и торговли РФ от 24 сентября 2009 г. № 853.
3. ГОСТ 17916–86 Фигуры девочек типовые. Размерные признаки для проектирования одежды. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. – 105 с.
4. ГОСТ 17917–86 Фигуры мальчиков типовые. Размерные признаки для проектирования одежды. – М.: Стандартинформ, 2006. – 102 с.
5. ГОСТ 19.701-90 (ИСО 5807-85) Единая система программной документации. Схемы алгоритмов, программ, данных и систем. Условные обозначения и правила выполнения // Единая система программной документации: Сб. ГОСТов. - М.: Стандартинформ, 2010. - С. 91-114.
6. ГОСТ 24103-80. Изделия швейные. Термины и определения дефектов. – М.: Изд-во стандартов, 1991. - 7 с.
7. ГОСТ 31396-2009 Классификация типовых фигур женщин по ростам, размерам и полнотным группам для проектирования одежды / введ. 30.06.2010. – М.: Стандартинформ, 2011. -18 с.
8. ГОСТ 31399-2009 Классификация типовых фигур мужчин по ростам, размерам и полнотным группам для проектирования одежды / введ. 01.07.2010. - М.: Стандартинформ, 2011. - 23 с.
9. ГОСТ 4.45-86 Система показателей качества продукции. Изделия швейные бытового назначения. Номенклатура показателей. - М.: Изд-во стандартов, 2001. – 6 с.
10. ГОСТ 4103-82 Изделия швейные. Методы контроля качества. - М.: Стандартинформ, 2011. - 23 с.
11. ГОСТ Р 52771-2007 Классификация типовых фигур женщин по ростам, размерам и полнотным группам для проектирования одежды / введ. 01.10.2008. - М.: Стандартформ, 2008. - 20 с.
12. ГОСТ Р 52772-2007 Классификация типовых фигур женщин особо больших размеров / введ. 01.10.2008. - М.: Стандартформ, 2008. - 18 с.
13. ГОСТ Р 52773–2007 Классификация типовых фигур беременных женщин. – М.: Стандартинформ, 2008. – 20 с.
14. ГОСТ Р 52774-2007 Классификация типовых фигур мужчин по ростам, размерам и полнотным группам для проектирования одежды / введ. 01.10.2008. - М.: Стандартформ, 2008. - 22 с.
15. ГОСТ Р 52775-2007 Классификация типовых фигур мужчин особо больших размеров / введ. 01.10.2008. - М.: Стандартформ, 2008. - 14 с.

16. ГОСТ Р 8.563–96 Государственная система обеспечения единства измерений. Методики выполнения измерений. – М.: Госстандарт России, 1997. – 23 с.
17. ГОСТ Р ИСО 10012-2008. Менеджмент организации. Системы менеджмента измерений. Требования к процессам измерений и измерительному оборудованию. – М.: Стандартинформ, 2009. – 26 с.
18. ГОСТ Р ИСО 11226–2008 Система стандартов безопасности труда. Эргономика. Ручная обработка грузов. Статические рабочие положения. Общие требования. – М.: Стандартинформ, 2009. – 23 с.
19. ГОСТ Р ИСО 15537–2009 Эргономика. Принципы отбора испытателей для проверки антропометрических свойств промышленной продукции и конструкций. – М.: Стандартинформ, 2010. – 16 с.
20. ГОСТ Р ИСО 3635–99 Одежда. Размеры. Определения, обозначения и требования к измерению. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2000. – 8 с.
21. ГОСТ Р ИСО 9001–2011 Системы менеджмента качества. Требования. – М.: Стандартинформ, 2012. – 36 с.
22. ГОСТ Р ИСО/МЭК 17025 – 2009 Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий. – М.: Стандартинформ, 2011. – 36 с.
23. Р 50.2.038–2004 ГСИ Измерения прямые однократные. Оценивание погрешностей и неопределенности результата измерений. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2004. – 11 с.

Книги, монографии, учебные пособия

24. Азгальдов Г.Г., Повилейко Р.П. О возможности оценки красоты в технике / под ред. А.В. Гличева. М.: Изд-во стандартов, 1977. - 120 с.
25. Алдрич У. Английский метод конструирования и моделирования. Женская одежда / пер. с англ.- М.: Эдипресс-Конлига, 2013. - 216 с.
26. Алыменкова Н.Д. Ассортимент плательных материалов: учеб. пос. - М.: ИИЦ МГУДТ, 2002. – 48 с.
27. Алыменкова Н.Д. Эстетические свойства материалов для одежды: учеб. пос. - М.: ИИЦ МГУДТ, 2000. – 35 с.
28. Андреева Е.Г., Петросова И.А., Гетманцева В.В., Бояров М.С. Разработка систем автоматизированного проектирования конкурентоспособных текстильных изделий: Отчет о НИОКР по Госконтракту Минпромторга РФ № 11411.0816900.19.050 от 13.04.2011// ЕФБД НИОКР зарегистр. 11.09.2012; рег. №01201163900; инв. № 02201261305.- 2011.- 205 с.
29. Андреева Е.Г., Петросова И.А., Гетманцева В.В., Бояров М.С. Разработка автоматизированной системы параметрического моделирования одежды сложных форм: Отчет о НИОКР по Госконтракту Минпромторга РФ №12411.0816900.19.076 от 03.04.2012// ЕФБД НИОКР зарегистр. 09.11.2012; рег. № 01201270764; инв. № 02201262648.- 2012.- 195 с.
30. Арнхейм Р. Искусство и визуальное восприятие / пер. с англ. – М.: Прогресс, 1974.- 391 с.

31. Баушев В.Н., Зубакова А.В. Психология восприятия зрительной информации: учеб. пос. – Л.: МИПК ЛИТМО, 1990. – 80 с.
32. Башкиров П.Н. Учение о физическом развитии человека. - М.: МГУ, 1928. - 320 с.
33. Беклемишев Д.В. Курс аналитической геометрии и линейной алгебры. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. - 304 с.
34. Беляева С.А. Совершенствование проектирования изделий, исследование свойств материалов. – М.: Легпромбытиздат, 1990. – 40 с.
35. Беляева–Экземплярская С.Н. Моделирование одежды по законам зрительного восприятия. - М.: Академия моды, 1996. – 116 с.
36. Бескоровайная Г. П. Конструирование одежды для индивидуального потребителя: учеб. пособие. - М.: Академия, 2004. – 120 с.
37. Бешелев С.Д., Гурвич Ф.Г. Математико-статистические методы экспертных оценок. – М.: Статистика, 1980. – 263 с.
38. Блинова Т.А., Порев В.Н. Компьютерная графика. - К.: Юниор; СПб.:Корона, 2005. - 520 с.
39. Бузов Б.А., Алыменкова Н.Д. Материаловедение в производстве изделий легкой промышленности. Швейное производство. - М.: Академия. - 2010, 448 с.
40. Бузов Б.А., Алыменкова Н.Д., Петропавловский Д.Г. Практикум по материаловедению швейного производства: учеб. пос. - М.: Академия, 2003.– 416 с.
41. Бунак В.В. Антропометрия. - М.: Учпедгиз, 1941. - 368 с.
42. Бунак В.В. Методика антропометрических исследований. - М.: Госмедиздат, 1931. - 222 с.
43. Васильев С.В. Основы возрастной и конституциональной антропологии. - М.: Изд-во РОУ, 1996. -217 с.
44. Габидулин В.М. Трехмерное моделирование в AutoCAD 2013. - М.: ДМК Пресс, 2012. - 260 с.
45. Горизонтов П.Д., Майзелис М.Я. Конституция: БМЭ. - М.: Советская энциклопедия, 1959, Т. 13. - С. 885 - 893.
46. Горина Г.С. Моделирование формы одежды. - М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. - 183с.
47. Гримм Г. Основы конституциональной биологии и антропометрии/ пер. с нем. - М.: Медицина, 1967. – 292 с.
48. Гурский Д., Турбина Е. Вычисления в Mathcad 12. - СПб.: Питер, 2006. - 544 с.
49. Данилова О.Н., Шеромова И.А., Еремина А.А. Архитектоника объемных форм: учеб. пособие. - Владивосток: Изд-во ВГУЭС, 2005. - 102 с.
50. Дерябин В.Е. Многомерная биометрия антропологов. М.: Изд-во МГУ, 1983. - 227 с.
51. Джамбруно М. Трёхмерная графика и анимация. - М.: Вильямс, 2002. - 640 с.

52. Добров Г.М., Ершов Ю.В., Левин Е.И., Смирнов Л.П. Экспертные оценки в научно-техническом прогнозировании: АН УССР, Ин-т кибернетики. - Киев: Наукова думка, 1974. - 159 с.
53. Домасев М.В., Гнатюк С.П. Цвет, управление цветом, цветовые расчеты и измерения. - СПб.: Питер, 2009. – 224 с.
54. Дунаевская Т.Н., Коблякова Е.Б., Ивлева Г.С., Ивлева Р.В. Размерная типология населения с основами анатомии и морфологии: учеб. пособие / под ред. Е.Б. Кобляковой.– М.: Мастерство; Академия, 2001.- 288 с.
55. Дунаевская Т.Н., Коблякова Е.К., Ивлева Г.С., Ивлева Р.В. Основы прикладной антропологии и биомеханики: учебник / под ред. Е.Б. Кобляковой. – М.: ИИЦ МГУДТ, 2005.- 280 с.
56. Дюрер А. Альбрехт Дюрер. Трактаты.- М.: Студия Артемия Лебедева, 2011.- 268 с.
57. Евланов Л.Г., Кутузов В.А. Экспертные оценки в управлении. - М.: Экономика, 2008. - 133 с.
58. Евсеев Г.А. Maya 3.0. Трехмерная графика и анимация. – М.: Десс-ком, 2001. – 448 с.
59. Единая методика конструирования одежды СЭВ (ЕМКО СЭВ). Базовые конструкции женской одежды. Том 2.- М.: НИИТЭИ легпром, 1988. – 66 с.
60. Единая методика конструирования одежды СЭВ (ЕМКО). Теоретические основы. Том 1. – М.: НИИТЭИ легпром, 1988. – 169с.
61. Единый метод конструирования женской одежды, изготавливаемой по индивидуальным заказам населения на фигуры различных типов телосложения. Части 1 и 2. – М.: ЦБНТИ, 1991. – 189 с.
62. Жак Л. Техника кроя. 800 рисунков моделей, детальных чертежей и наглядных схем. - М.: РИПОЛ классик, 2008 - 592 с.
63. Зинченко В.П., Вергилес Н.Ю. Формирование зрительного образа: Исследование деятельности зрительной системы. - М.: Изд-во МГУ, 1969. - 107 с.
64. Иваницкий М.Ф. Движения человеческого тела - М.: Медицина, 1968. – 122 с.
65. Каримов Г.А., Каримова И.С. Объемно-пространственная композиция: учеб. пособие. Благовещенск: АмГУ, 2003.- 151 с.
66. Коблякова Е.Б. Основы проектирования рациональных размеров и формы одежды. - М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984. - 207 с.
67. Ковальчик Р. Конструирование женской одежды / пер. с польск. – Мн.: Тонпик, 2004. - 306 с.
68. Козлова Т.В. Художественное проектирование костюма. - М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. - 145 с.
69. Козлова Т.В., Рыввинская Л.Б., Тимашева З.Н. Основы моделирования и художественного оформления одежды. - М.: Легкая индустрия, 1979. - 168 с.
70. Конопальцева Н.М., Волкова Е.Ю., Крылова И.Ю. Антропометрия индивидуального потребителя. Основы прикладной антропологии и биомеханики. Лабораторный практикум. М.: Форум, Инфра-М, 2006. - 256 с.

71. Конопальцева Н.М., Рогов П.И., Крюкова Н.А. Конструирование и технология изготовления одежды из различных материалов. Часть 1. Конструирование одежды. - М.: Академия, 2007. – 256 с.
72. Конструирование одежды с элементами САПР: учебник/ Е.Б. Коблякова, Г.С. Ивлева, В.Е. Романов и др.; под ред. Е.Б. Кобляковой. - М.: Легпромбытиздат, 1988. - 464 с.
73. Кормен Т., Лейзерсон Ч., Ривест Р., Штайн К. Алгоритмы: построение и анализ / под ред. И. В. Красикова. - М.: Вильямс, 2005. - 296 с.
74. Коротков С.Н. Конструирование одежды. - М.: Гизлегпром, 1938. - 288 с.
75. Косинец И.Б. Дефекты швейных изделий: учеб. пос. М.: Академия, 2013. – 176 с.
76. Костин Ю.А. Основы прикладной антропологии и биомеханики (ОПАБ): учеб. пос. - Иваново: ИГТА, 2005. - 104 с.
77. Красникова–Аксенова Л.Я. Крой без тайн. – М.: Любакс, 2003. – 302 с.
78. Кривобородова Е. Ю. Методология адресного проектирования одежды с использованием новых информационных технологий. – М.: ИИЦ МГУДТ, 2007. – 263 с.
79. Кузьмичев В.Е. Бодисканеры и одежда. Новые технологии проектирования одежды. – LAP LAMBERT Academic Publishing, -2012.-556с.
80. Кузьмичев В.Е., Ахмедулова Н.И., Юдина Л.П. Художественно-конструктивный анализ и проектирование системы "фигура - одежда": учеб. пос. - Иваново: ИГТА, 2010. - 300 с.
81. Кузьмичев В.Е., Ахмедулова Н.И., Юдина Л.П. Основы построения и анализа чертежей одежды: учеб. пос. - Иваново, ИГТА, 2010. - 320 с.
82. Кузьмичев В.Е., Ахмедулова Н.И., Юдина Л.П. Системный анализ чертежей конструкций одежды: учеб. пос. - Иваново, ИГТА, 2010. - 400 с.
83. Куренова С.В., Савельева Н.Ю. Конструирование одежды. - Ростов-на-Дону: Феникс, 2003.- 480 с.
84. Куршакова Ю.С., Дунаевская Т.Н., Зенкевич П.И., Пурунджан А.Л., Спиридонова Е.В. Проблемы размерной антропологической стандартизации для конструирования одежды. - М.: Лёгкая индустрия, 1978. - 256 с.
85. Куршакова Ю.С., Зенкевич П.И., Дунаевская Т.Н. Размерная типология населения стран-членов СЭВ.- М.: Легкая индустрия, 1974. – 440 с.
86. Лашина И.В. Конструирование швейных изделий на фигуры нетипового телосложения: учеб. пос. - Омск.: ОГУИС, 2003.- 174 с.
87. Лашина И.В. Конструирование швейных изделий по индивидуальным заказам населения: учеб. пос.- Омск: ОГУИС, 1999. - 147 с.
88. Лашина И.В., Чижик М.А. Конструирование одежды. – Омск: ОГУИС, 2005. - 224 с.
89. Лигвинов, В.Н. Элементы антропологии и антропометрии в процессе физического воспитания. Днепрпетровск, 1989.- 109 с.
90. Литвак Б.Г. Экспертные оценки и принятие решений. М.: Патент, 1996. - 271.
91. Лобанов А. Н. Фотограмметрия: учебник. - М.: Недра, 1984. - 552 с.

92. М. Мюллер и сын. Исправление дефектов посадки/ пер. с англ. - М.: Эдипресс-Конлига, 2011. - 132 с.
93. М. Мюллер и сын. Платья и блузки. Конструирование / пер. с англ. – М.: Эдипресс–Конлига, 2007.– 264 с.
94. М. Мюллер и сын. Техника кроя. Сборник Ателье 2011 / пер. с англ. - М.: Эдипресс-Конлига, 2012. - 144 с.
95. Маргорин Е. М. Индивидуальная анатомическая изменчивость человека: метод. пособие. - СПб.: Медицина, 1975. - 35 с.
96. Мартин Р. Краткое руководство по антропометрическим измерениям/ пер. с нем. - М.: Изд-во Наркомздрава РСФСР, 1927. - 75 с.
97. Мартиросов Э.Г. Методы исследования в спортивной антропологии. - М.: Физкультура и спорт, 1982. -198 с.
98. Мартынова А.И., Андреева Е.Г. Конструктивное моделирование одежды: учеб. пособие для вузов. – М.: МГУДТ, 2006. – 216 с.
99. Матузова Е.М., Соколова Р.И., Гончарук Н.С. Мода и крой. – М.: Институт индустрии моды, 2001. – 192 с.
100. Медведев В.Ю. Принципы и критерии эстетической оценки промышленных изделий – произведений дизайна: учеб. пос. – СПб.: СПГУТД, 2006. – 75 с.
101. Медведева Т.В. Конструирование одежды. Технологии проектирования новых моделей одежды. - М.: Форум, 2010.- 304 с.
102. Медведева Т.В. Развитие основ формирования качества при проектировании конструкций одежды. – М.: МГУС, 2005. – 290 с.
103. Медведева Т.В. Художественное конструирование одежды: учебное пособие. М.: ИНФРА-М, 2011. – 480 с.
104. Медведева Т.В., Булатова Е.Б., Коблякова Е.Б. Конструирование женского платья на фигуры с различной осанкой. – М.: Легпромбытиздат, 1993. – 144 с.
105. Методика конструирования женской верхней одежды. — М.: ЦНИИТЭИлегпром, 1980. – 127 с.
106. Методика морфофизиологических исследований в антропологии / под ред. Н.С. Смирновой. - М.: МГУ, 1981. – 104 с.
107. Моллье С. Пластическая анатомия: конструкция человеческого тела / пер. с нем. - Л.: Искусство, 1937.- 208 с.
108. Моль А. Теория информации и эстетическое восприятие / пер. с франц. М.: Мир, 1966. - 352 с.
109. Мхитарян Л.С. Дефекты одежды: справочник.- М.: АСТ; Донецк: Сталкер, 2008. – 383 с.
110. Мэрдок К. 3ds Max 2012. Библия пользователя/ пер. с англ.- М.: Диалектика, Вильямс, 2012.- 1294 с.
111. Никитюк Б.А. Конституция человека: Практическая антропология. - М.: ВИНТИ, 1991, Т.11. - 343 с.
112. Никитюк Б.А., Гладышева А.А. Анатомия и спортивная морфология. - М.: Медицина, 1989. - 145 с.

113. Никитюк Б.А., Корнетов Н.А. Интегративная биомедицинская антропология. Томск: ТГУ, 1998. - 92 с.
114. Никитюк Б.А., Чтецов В.П. Морфология человека: учеб. пос. - М.: Изд-во МГУ, 1990. – 344 с.
115. Овсеевич И.А. Алгоритмы обработки экспериментальных данных. – М.: Наука, 1986.- 187 с.
116. Орлов А. И. Организационно-экономическое моделирование. Ч.2: Экспертные оценки: учебник. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. – 486 с.
117. Основы высшей математики и математической статистики: учебник / Павлушков И.В. и др. - М.: ГЭОТАР-Медиа, 2009. - 432 с.
118. Пармон Ф.М. Композиция костюма. Одежда, обувь, аксессуары: учебник. - М.: Триада Плюс, 2002. – 220 с.
119. Петров М.Н. Компьютерная графика: учебник. - СПб.: Питер, 2011.- 544 с.
120. Петросова И.А., Андреева Е.Г., Андреев В.А. Разработка бесконтактного измерительного комплекса для производства продукции лёгкой промышленности: Отчет о НИОКР по Госконтракту Минпромторга РФ № 10411.0816900.19.046 от 13.04.2010// ЕФБД НИОКР зарегистр. 31.05.2011; рег. № 01201061896; инв. № 02201157645.- 2010.- 190 с.
121. Петросова И.А., Гусева М.А., Базаев Е.М. Разработка теоретических основ бесконтактного муросометрического метода изучения объектов сложной формы: Отчет о НИР Минобразования РФ// ЕФБД НИОКР зарегистр. 01.03.2010; рег. № 01200850094; инв. № 02201052310.- 2010.- 73 с.
122. Петушкова Г.И. Архитектоника в костюме: учеб. метод. – М.: МТИ, 1980. - 91с.
123. Петушкова Г.И. Проектирование костюма: учебник. – М.: Академия, 2004. – 416 с.
124. Практикум по антропологии и биомеханике: метод. пос. / М.А. Гусева, И.А. Петросова, А.Ю. Рогожин и др. - М.:РИО МГУДТ, 2012. – 119 с.
125. Практикум по размерной антропологии и биомеханике: учеб. пос. / А.Ю. Рогожин, Р.В. Иевлева, Е.Ю. Кривобородова, М.А. Гусева, И.А. Петросова. – М.: ИИЦ МГУДТ, 2010. – 159 с.
126. Приписнов Д.Ю. Моделирование в 3D Studio MAX 3.0 - СПб.: ВHV-СПб., 2000. – 352 с.
127. Проектирование изделий легкой промышленности в САПР / Г.И. Сурикова и др. - М.: ФОРУМ; ИНФРА -М, 2013.- 336 с.
128. Пути улучшения качества изготовления одежды/ П. П. Кокеткин, М. В. Сафронова, Т. Н. Кочегура. - М.: Легпромбытиздат, 1989.- 240 с.
129. Раднатаров В.Ц., Павлова С.В. Определение динамического соответствия одежды: метод. указ. - Улан–Удэ: ВСГТУ, 2002. – 18 с.
130. Радченко И.А. Конструирование и моделирование одежды на нетиповые фигуры. –М.: Академия, 2010. – 352 с.

131. Раздомахин Н.Н., Сурженко Е.Я., Басуев А.Г. Трехмерное проектирование женской одежды: учеб. пособие. - СПб.: СПГУТД. 2006. - 145 с.
132. Райхман Э.П., Азгальдов Г.Г. Экспертные методы в оценке качества товаров. М.: Экономика, 1974. - 151 с.
133. Ратнер П. Трехмерное моделирование и анимация человека. – М.: Вильямс, 2005.- 272 с.
134. Рахманов Н.А., Стаханова С.И. Конструктивные дефекты и способы их устранения. – М.: Легкая индустрия, 1979. – 128 с.
135. Рахманов Н.А., Стаханова С.И. Устранение дефектов одежды. М.: Легкая и пищевая пром-сть, 1985. - 128 с.
136. Резниченко О. Мужская одежда от А до Я. - М.: Эдипресс-конлига, 2010. -168 с.
137. Рогинский Я.Я, Левин М.Г. Антропология: учебник. - М.: Высшая школа, 1978. - 528 с.
138. Рогов П.И., Конопальцева Н.М. Конструирование женской одежды для индивидуального потребителя. - М.: Академия, 2004. - 400 с.
139. Рогов П.И., Конопальцева Н.М. Конструирование мужской одежды для индивидуального потребителя. - М.: Академия, 2006. – 384 с.
140. Роджерс Д., Адамс Дж. Математические основы машинной графики/ Пер. с англ. – М.: Мир, 2001. – 604 с.
141. Розин В.М. Визуальная культура и восприятие: Как человек видит и понимает мир / 5-е изд. – М.: ЛКИ; Либроком, 2012. - 272 с.
142. Романов В.Е. Системный подход к проектированию специальной одежды. – М.: Лег. и пищ. пром-ть, 1981. – 128 с.
143. Саввон Л.В. Устранение дефектов одежды: учебное пособие / под ред. Е.В. Рымар. – Челябинск, ЮУрГУ, 2011. – 62 с.
144. Савостицкий Н.А., Амиров Э.К. Материаловедение швейного производства: учеб. пос. – М.: Академия, 2001. – 240 с.
145. Сковронский А.Я. Конструирование мужской верхней одежды. – М.: Легкая индустрия, 1968. - 120 с.
146. Слесарчук И.А., Олейник Т.П. Конструктивные дефекты одежды: учеб. пособие. – Владивосток: ВГУЭС, 2000. - 160 с.
147. Смирнов М.И., Павлов В.С., Кудряшов В.Н. Конструирование мужской верхней одежды. - М.: Легкая индустрия, 1977. - 248 с.
148. Смирнова Н.С., Шагурина Т.П. Методика антропометрических исследований/ В кн. Методика морфофизиологических исследований в антропологии. М: Изд-во МГУ, 1981. С. 4-43.
149. Справочник по конструированию одежды/ В.М. Медведков, Л.П. Бородина, Т.Ф. Дурыгина и др.; под общ. ред. П. П. Кокеткина. - М.: Легкая и пищевая пром-ть, 1982.- 312 с.
150. Статистические методы анализа экспертных оценок: АН СССР / под ред. Рябушкина Т.В.- М.: Наука, 1977.- 384 с.
151. Стебельский М.В. Макетно-модельный метод проектирования одежды. -М.: Лёгкая индустрия, 1979. - 160 с.

152. Тамаркина М.А. Формообразование одежды. М.: Легкая индустрия, 1974. - 24с.
153. Тартаковский Д.Ф., Ястребов А.С. Метрология, стандартизация и технические средства измерений. - М.: Высшая школа, 2002. – 205 с.
154. Тегако Л.И., Марфина О.В. Практическая антропология: учеб. пос. - Ростов-на-Дону: Феникс, 2003. - 320 с.
155. Тегако Л.И., Саливон И.И. Основы современной антропологии. - Минск: Университетское, 1989. - 270 с.
156. Томпсон Н. Секреты программирования трехмерной графики / пер. с англ. - СПб.: Питер, 1997. - 352 с.
157. Тэннер Дж. Рост и конституция человека / В кн. Харрисон Дж., Уайнер Дж., Тэннер Дж., Рейнолдс В. Биология человека. – М.: Мир, 1979. – С.366-471.
158. Фершильд М.А. Модели цветового восприятия/ пер. с англ. – Rochester Institute of Technology, 2006. – 437 с.
159. Финкельштейн Э. AutoCAD 2010 и AutoCAD LT 2010. Библия пользователя / пер. с англ. – М.: Вильямс, 2010. - 1360 с.
160. Хальворсон М. Microsoft Visual Basic 6.0 для профессионалов. Шаг за шагом / пер. с англ. - СПб.: Эком, 2005.- 720 с.
161. Хокни Р., Иствуд Дж. Численное моделирование методом частиц. – М.: Мир, 1987. - 639 с.
162. Хокс Б. Автоматизированное проектирование и производство / пер. с англ. - М.: Мир, 1991. - 296 с.
163. Хомутов А.Е. Антропология. - Ростов-на-Дону: Феникс, 2002. - 384 с.
164. Хрисанфова Е.Н. Конституция и биомеханическая индивидуальность человека. - М.: МГУ, 1990. - 152 с.
165. Хрисанфова Е.Н., Перевозчиков И.В. Антропология. - М.: МГУ, 1991. - 320 с.
166. Шашлов А.Б. Основы светотехники: учебник для вузов / А. Б. Шашлов, Р. М. Уарова, А. В. Чуркин. – М. МГУП, 2002. – 280 с.
167. Шершнева Л.П. Качество одежды. - М.: Легпромбытиздат, 1985.- 192 с.
168. Шершнева Л.П., Ларькина Л.В. Конструирование одежды. – М.: Форум, Инфра-М, 2010. - 288 с.
169. Шершнёва Л.П., Ларькина Л.В., Пирязева Т.В. Основы прикладной антропологии и биомеханики. - М.: Форум; Инфра-М, 2004. - 144 с.
170. Экспертные оценки и восприятие искусства / под. ред. И.Б. Гутчина, Т.А.Кудриной. – М.: Мин-во культуры РСФСР, 1977.- 176 с.
171. Янчевская Е.А. Конструирование одежды: учебник. - М.: Академия, 2010. – 384 с.

Диссертации, авторефераты

172. Акимочкина И.М. Разработка метода автоматизированного проектирования разверток объемно-пространственных форм моделей одежды с учетом адресных принципов: дис. ... канд. техн. наук: 05.19.04/ МГУДТ, Москва, 2007. – 279с.

173. Аксенова О.Н. К вопросу об осанке человека: дис. ... канд. биол. наук. М., ГЦОЛИФК. 1948. 148 с.
174. Алексеева Е.А. Антропометрическая характеристика женщин 16-20 лет с разными типами осанки: дис. ... канд. мед. наук: 14.03.01 / КГМА. - Красноярск, 2010.- 146 с.
175. Афанасьева Н.В. Разработка информационного обеспечения визуальных образов систем "женская фигура–модель пальто": автореф. дис....канд. техн. наук : 05.19.04 / ИГТА, Иваново, 2007. – 19 с.
176. Баранов А.А. Антропометрические характеристики культуристов и методика количественной оценки их соревновательных достижений: дис. ... канд. пед. наук: 14.00.02/ МГАФК, Москва, 1999. -196 с.
177. Бескоровайная Г.П. Научные основы проектирования гармоничной и композиционно-целостной одежды: дис. ... докт. техн. наук: 05.19.04/ МГУС, Москва, М.: 2004.- 413 с.
178. Булатова Е.Б. Исследование измерений размеров и формы тела и конструкции женской одежды в зависимости от осанки: дис. ... канд. техн. наук: 05.19.04/ МТИЛП, Москва, 1981. – 305 с.
179. Бутко Т.В. Исследование и разработка информационного обеспечения автоматизированного проектирования одежды: дис. ... канд. техн. наук: 05.19.04/ МТИЛП, Москва, 1990. – 305 с.
180. Волкова Е.К. Исследование и разработка методики построения интегрированной системы «адресного» автоматизированного проектирования одежды: дис. ... канд. техн. наук: 05.19.04/ МГАЛП, Москва, 1998. - 209 с.
181. Гальцова Л.О. Разработка метода трёхмерного проектирования внешней формы изделия на типовые и индивидуальные фигуры: дис. ... канд. техн. наук: 05.19.04/ МГУДТ, Москва, 2012. – 245 с.
182. Гетманцева В.В. Разработка методов интеллектуализации процесса автоматизированного проектирования женской одежды: дис. ... канд.техн.наук: 05.19.04/ МГУДТ, Москва, 2006. – 244 с.
183. Гусева М.А. Совершенствование метода трёхмерного проектирования элементов конструкции плечевой одежды: дис. ... канд.техн.наук: 05.19.04/ МГУДТ, Москва, 2007. – 238 с.
184. Добряков А.А. Инженерно-психологическое обеспечение творческих форм проектно-конструкторской деятельности : дис. ... докт. психол. наук : 19.00.03/МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, 1997.- 236 с.
185. Ду Цзинь Сун Разработка метода проектирования поясных изделий на фигуры различного телосложения с использованием цифровых технологий: дис. ... канд.техн.наук: 05.19.04/ МГУДТ, Москва, 2005. – 183 с.
186. Иванова Е.М. Антропологические аспекты изучения осанки тела у детей и взрослых: дис. ... канд. биол. наук: 03.03.02 / МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, 2011.- 165 с.
187. Киселева М.В. Разработка параметрического метода 3–D моделирования женских поясных изделий : дис....канд. техн. наук : 05.19.04 /МГУДТ, Москва, 2011. – 232 с.

188. Кислицина Ю.В. Разработка методики оценки и корректирования баланса одежды в процессе автоматизированного проектирования: дис. ... канд. техн. наук : 05.13.12 / ОГИС, Омск, 2005. - 186 с.
189. Курбатов Е.В. Разработка информационного обеспечения интегрированной системы трехмерного и двухмерного проектирования одежды: дис. ... канд.техн.наук: 05.19.04/ МГУДТ, Москва, 2004. – 217 с.
190. Лашина И.В. Разработка исходной информации для автоматизированного проектирования женской верхней одежды на фигуры различного телосложения: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.19.04/ МГАЛП, Москва, 1992. – 24 с.
191. Линник Ю.В. Разработка метода трехмерного проектирования сопряжения сложных поверхностей плечевой одежды: дис. ... канд.техн.наук: 05.19.04/ МГУДТ, Москва, 2008. – 199 с.
192. Ло Юнь Проектирование виртуальных систем "женская фигура–одежда" с разной объемно–силуэтной формой: дис....канд. техн. наук: 05.19.04 / ИГТА, Иваново, 2011. – 215 с.
193. МаксUTOва М.Т. Разработка метода гибкой параметризации конструкции одежды, проектируемой в 2D САПР : дис. канд. техн. наук: 05.19.04 / МГУДТ, Москва, 2011. – 172 с.
194. Маркелова И.Д. Пространственно-геометрическое формообразование в костюме: дис. ... канд. техн. наук: 17.00.06/ МГТУ, Москва, 2005. - 188 с.
195. Медведева Т.В. Развитие основ формирования качества при проектировании конструкций одежды: дис. ... докт. техн. наук: 05.19.04/ МГУС, Москва, 2004. – 487 с.
196. Мелкова С.В. Разработка технологии получения фотографической информации по экранному изображению человека в одежде: дис. ... канд.техн.наук: 05.19.04/ РЗИТЛП, Москва, 2002.- 231 с.
197. Милованов С.С. Анатомо-функциональная и типологическая характеристика мужчин в возрасте 20-27 лет: автореф. ... канд. мед. наук: 14.00.02 / СГМУ, Волгоград. 2003. - 22 с.
198. Овсепян Г.С. Разработка особенностей дизайна женской одежды на полную фигуру : автореф. дис....канд. техн. наук : 17.00.06 / МГУДТ, Москва, 2012. – 25 с.
199. Петросова И.А. Разработка бесконтактных методов исследования поверхности фигуры для проектирования одежды: дис. ... канд. техн. наук: 05.19.04/ МГУДТ, Москва, 2007. – 171 с.
200. Позднякова Н.В. Автоматизированное проектирование мужской одежды на фигуры различного телосложения на основе разработки локальных информационных систем: дис. ... канд.техн.наук: 05.19.04/ МГУДТ, Москва, 2001. – 307 с.
201. Раздомахин Н.Н. Теоретические основы и методическое обеспечение трехмерного проектирования одежды: дис. ... докт. техн. наук: 05.19.04/ СПГУТД, СПб, 2004. - 364с..

202. Рогожин А.Ю. Разработка методов проектирования швейных изделий в системе САПР: дис. ... канд. техн. наук: 05.19.04/ МТИЛП, Москва, 1985. – 188 с.
203. Савельева Н.Ю. Совершенствование методов автоматизированного проектирования одежды на индивидуального потребителя: дис. ... канд. техн. наук: 05.19.04/ ДГАС, Шахты, 1999. – 267 с.
204. Сильчева Л.В. Совершенствование технологии проектирования конструкций одежды на начальных стадиях проектных работ: дис. ... канд. техн. наук: 05.19.04/ МГУС, Москва, 2006. - 265 с.
205. Струневич Е.Ю. Разработка метода преобразования творческого эскиза в модельную конструкцию при автоматизированном проектировании женской одежды: дис. ... канд. техн. наук: 05.19.04/ МГУДТ, Москва, 2008.- 240 с.
206. Суворова О.К. Розробка принципів та засобів забезпечення збалансованості конструкцій одягу] : дис. ... канд. техн. наук : 05.19.04 - Технологія швейних виробів: захист 12.12.2000 / КНУТД. – Киев, 2000. - 160 с.
207. Сурженко Е.Я. Теоретические основы и методологическое обеспечение эргономического проектирования специальной одежды : автореф. дис....докт. техн. наук : 05.19.04 /МГУДТ, Москва, 2001. – 49 с.
208. Тамаркина М.А. Образование формы одежды с учетом драпируемости ткани и основных конструктивных форм изделий : дис....канд. техн. наук: 05.19.04/ Москва, 1970. – 226 с.
209. Фроловский Д.В. Параметрическое моделирование трехмерных объектов со сложной структурой в системах компьютерной графики дис. ... канд. техн. наук: 05.13.17/ Нов.гос.техн.ун-т, Новосибирск, 2003. - 194 с.
210. Хабирова К.М. Разработка метода адресного автоматизированного проектирования моделей одежды сложных пространственных форм : дис.... канд. техн. наук: 05.19.04 / МГУДТ, Москва, 2011. – 267 с.
211. Черемисина Т.А. Разработка метода интеграции эскизного проекта модели одежды с базой данных для разработки ее конструкции: дис. ... канд. техн. наук: 05.19.04/ МГУДТ, Москва, 2008.- 229 с.
212. Черняева А.А. Разработка метода комплексного проектирования силуэтной формы женской одежды: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.19.04 / МГУДТ, Москва, 2013. – 20 с.
213. Шершнева Л.П. Методологические основы автоматизированного проектирования одежды выполняемой по индивидуальным заказам промышленными способами: дис. ... докт. техн. наук: 05.19.04/ МТИЛП, Москва, 1991. – 322 с.

Российская периодическая литература

214. Андреева Е.Г., Волкова Е.К., Черемисина Т.А. Использование проекционных прибавок при проектировании мужской одежды // Швейная промышленность. 2008, №1. – С.55-56.
215. Андреева Е.Г., Волкова Е.К., Черемисина Т.А. Совершенствование способов интеграции процесса художественного проектирования одежды с

разработкой ее конструкции // *Мода и дизайн: исторический опыт – новые технологии*. Материалы 10-й Международной научной конференции. СПб., СПГУТД, 2007.

216. Андреева Е.Г., Петросова И.А., Бояров М.С. Проектирование внешней формы мужской одежды на основе трехмерного сканирования// *Швейная промышленность*. 2013, № 2. – С. 33-36.

217. Андреева М.В., Холина Т.Ю. Конструктивное моделирование в САПР «Ассоль»// *Швейная промышленность*. 2001, № 1. - С.34-37.

218. Башкиров П.Н. Форма тела как показатель физической крепости организма // *Советская антропология*. -1958, №2-4.- С.27-36.

219. Бектемирова Л.С., Петросова И.А., Зарецкая Г.П. Проектирование трехмерной модели фигуры для формования войлочных деталей одежды// *Научный обозреватель*. – 2013, №10 (34).- С.72-76.

220. Белков А.В., Грызлова Т.П., Шаров В.Г. Проблемы и методы построения эффективных визуальных информационных систем// *Программные продукты и системы*. 2002, №3. - С. 11-14.

221. Бескорвайная Г.П., Корягин И.С. Методика выбора отделочных материалов одежды // *Швейная промышленность*. – 2010, № 1. - С.48-49.

222. Бунак В.В. Нормальные конституциональные типы в свете данных о корреляции отдельных признаков // *Учёные записки МГУ*. 1940, Вып.34. - С.59-101.

223. Бунак В.В. Опыт типологии пропорций тела и стандартизации главных антропометрических размеров // *Учёные записки МГУ*. 1937, Вып.10.- С.100.

224. Бунак В.В. Теоретические вопросы о физическом развитии и его типах у человека // *Учёные записки МГУ*. 1940, Вып. 36. - С.7-9.

225. Бутова О.А., Лисова И.М. Корреляции некоторых параметров конституции человека // *Морфология*. 2001, №2. - С.33-39.

226. Вишняков Г.Н., Левин Г.Г., Наумов А.А. Измерение поверхности трехмерных объектов методом проекции интерференционных полос// *Оптика и спектроскопия*. 1998, № 6. - С. 105-119.

227. Властовский В.Г. Пропорции тела // *Морфология человека*. 1983. - С.58-66.

228. Властовский В.Г. Тотальные размеры тела // *Морфология человека*. 1983. - С. 48-57.

229. Волянский Н. Прибор и методика для пространственных измерений тела человека // *Вопросы антропологии*. 1960, Вып.4. - С. 103-112.

230. Гетманцева В.В., Гальцова Л.О., Бояров М.С., Гусева М.А. Методика проектирования виртуального манекена// *Швейная промышленность*. – 2011, № 6. - С. 32–34.

231. Гетманцева В.В., Ковалевич А.И. Пути реализации параметрических связей 2-D и 3-D модулей в САПР одежды// *Швейная промышленность*. 2007, № 6. – С. 41-42.

232. Гетманцева В.В., Струневич Е.Ю. Андреева Е.Г. Интеллектуализация начальных этапов проектирования моделей одежды// *Дизайн и технологии*. 2008, №9.- С. 66-71.

233. Гурфинкель В.С., Бабакова И.А. Точность поддержания положения проекции общего центра масс человека при стоянии // Физиология человека. 1995. - №3. - С.65-74.
234. Дерябин В.Е. О корреляции между некоторыми продольными и поперечными размерами тела // Вопросы антропологии. 1975, Вып.50. - С.165-178.
235. Дерябин В.Е. Опыт применения факторного анализа для изучения изменчивости пропорций тела // Вопросы антропологии. 1976, Вып.52. - С.185-187.
236. Дерябин В.Е. Построение морфологической типологии у мужчин методом главных компонент // Вопросы антропологии. 1987, Вып.79. - С.3-20.
237. Дерябин В.Е., Пурунджан А.Л. Географические особенности строения тела населения СССР. - М.: Изд-во МГУ, 1990. - 191 с.
238. Ду Ц.С., Петросова И.А., Андреева Е.Г. Развитие способов проектирования одежды на основе трехмерного сканирования // Дизайн и технологии.- 2013, №38(80).- С. 51-58.
239. Иванова Е.В., Петросова И.А. Применение способа получения трехмерного объекта сложной формы для изготовления изделий специального назначения // IV Московский фестиваль науки. Тезисы докладов Всероссийской научно-практической студенческой конференции «Молодая наука». – М.: ИИЦ МГУДТ, 2009. – С.8-9.
240. Ивлева Г.С., Чайковская Л.К., Родкина Л.С., Коблякова Е.Б. Применение бесконтактных методов для получения сечений манекенов женских фигур и одежды// Известия вузов. Технология легкой пром-ти. 1986, № 2. - С.21-23.
241. Карме Х.Т. Ведущие факторы в системе размеров тела у женщин // Архив анатомии, гистологии и эмбриологии. 1983, Т. 85, № 9. - С. 67-70.
242. Коблякова Е.Б. Структурная схема показателей, определяющих уровень качества одежды. Сообщение 1 //Швейная промышленность. 1976, № 2. - С.10-11.
243. Коблякова Е.Б. Усовершенствование методики оценки качества конструкции одежды // Швейная промышленность. 1979, №. 4.- С.18.
244. Колмогоров А.Н. Три подхода к определению понятия “количество информации”. Проблемы передачи информации, 1965, вып. 1, № 1, стр. 3–11.
245. Кондрашев А.В., Соколов В.В., Палисмик О.В. Антропометрическое обследование жителей юга России // Морфологические ведомости. 2004, №1-2. - С.53.
246. Лазарев В.А. Краткий обзор систем боди-сканирования // Швейная промышленность. 2003, № 5. - С. 14-15.
247. Ландовский В.В. Компьютерное моделирование одежды с использованием метода частиц // Информационные технологии моделирования и управления, – 2005. – № 7(25). – С. 934-941.
248. Ландовский В.В. Методы интегрирования дифференциальных уравнений в задаче моделирования поведения ткани методом частиц /

- Материалы 15-ой международной конференции по компьютерной графике. Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН. – Новосибирск: Академгородок, 2005. – С. 234-241.
249. Ландовский В.В. Моделирование взаимодействий ткани с твердыми многогранными объектами // Сборник научных трудов НГТУ, 2006. - №2(44). - С 53-58.
250. Ли Ю., Кузьмичев В.Е. Новая технология обработки и проектирования виртуальных систем «женская фигура-куртка». // Швейная промышленность. – 2009, № 1. - С.32-35.
251. Ло Ю., Кузьмичев В.Е. Конструктивное обоснование получения объемно–пространственной формы одежды// Швейная промышленность. – 2010, № 4. – С. 40-43.
252. Ло Ю., Кузьмичев В.Е. Технология параметризации формы одежды. //Швейная промышленность. – 2010, № 2. - С.30-33.
253. Лопандина С.К. Создание размерной типологии населения страны// История науки и техники. – 2005, №10. - С.24-29.
254. Лопасова Л.В., Гусева М.А. Автоматизированное проектирование головных уборов в трехмерных САПР// Дизайн и технологии. – 2012, №31(73). – С. 37-43.
255. Лопасова Л.В., Кулиш Ю.В., Севастьянова Я.В. Исследование размеров, форм головы и лица женщин для проектирования головных уборов// Кожевенно–обувная промышленность. – 1997, №6. - С. 29-32.
256. Медведева Т.В., Вир Л.Э. Способ преобразования фотограмметрической информации для целей автоматизированного проектирования одежды // Швейная промышленность. 1998, № 5.- С.35-36.
257. Медведева Т.В., Яковлева Е.Я. Последовательность переработки информации в САПРО на основе трехмерной антропометрической базы данных// Известия вузов. Технология текстильной пром-ти. 1995, № 3. - С.80-84.
258. Николаев В.Г., Гребенникова В.В., Ефремова В.П. Интегративная антропология методические подходы и результаты научных исследований/ Актуальные проблемы морфологии: Сб. науч. трудов. - Красноярск, 2003. - С. 149-152.
259. Николаев Л.П. Метод установления средних контуров тела и определенных отклонений от них // Антропологический журнал. 1934. №3. С. 77-97.
260. Николаев Л.П. Рационализация построения одежды на основе антропометрических данных // Швейная промышленность, 1932. № 8-9. С. 56-84.
261. Николаев Л.П. Средние контуры туловища мужчин и женщин в связи с кроем одежды// Швейная промышленность. 1935, № 8. С 2-8.
262. Николаев Л.П. Тип осанок у взрослого // Ортопедия и травматология (Харьков), 1935. №5. С.121-128.
263. Николаев Л.П. Типы осанок и их учет при крое одежды // Швейная промышленность. 1935. №11. С. 8-15.

264. Петросова И.А. Проектирование одежды для спортивных бальных танцев с учетом динамических изменений размерных признаков // Материали за 9-а международна научна практична конференция «Бъдещите изследвания – 2013», 17–25 февралю.- София: Бял ГРАД–БГ.- 2013, Том 30.- С.56-59.
265. Петросова И.А. Разработка бесконтактного метода определения координат точек поверхности фигуры// Научная перспектива. - 2013, №5. - С.114-117.
266. Петросова И.А., Андреева Е.Г. Анализ методов измерений фигуры человека и систем трехмерного сканирования в легкой промышленности// Дизайн и технологии. –2012, №30 (72). – С. 59-64.
267. Петросова И.А., Андреева Е.Г. Обзор возможностей современных методов исследования формы поверхности фигуры человека // Техника и технология. – 2009, № 3. – С.32-36.
268. Петросова И.А., Андреева Е.Г., Шпачкова А.В. Объективные способы оценки внешней формы и качества посадки корсетно–бельевых изделий с помощью трехмерного сканирования // Швейная промышленность. – 2013, № 6. – С. 30–36.
269. Петросова И.А., Гусева М.А., Лопасова Л.В. Подготовка исходной информации и проектирование головных уборов в трёхмерных САПР// Дизайн и технологии. - 2013, №36 (78). – С.
270. Петросова И.А., Костылева В.В., Шмидт–Вернебург Х. Фиброоптика в изделиях легкой промышленности //Дизайн и технологии. – 2011, № 21. – С. 17–21.
271. Петросова И.А., Лопасова Л.В., Андреева Е.Г. Особенности проектирования одежды для парапланеристов с учётом изменения размерных признаков в динамике //Дизайн и технологии. –2012, № 29(71). – С. 49-54.
272. Петросова И.А., Мартынова А.И. Мурусометрический метод бесконтактного определения размерных характеристик объекта // Дизайн и технологии. – 2008, №9(51). – С.52-56.
273. Петросова И.А., Тутова А.А., Андреева Е.Г. Проектирование манекенов для одежды на основе данных трехмерного сканирования фигуры //Научный обозреватель. – 2013, №12 (36). – С.83–88.
274. Пряткин П.В. Оценка физического развития людей зрелого возраста с помощью антропометрических показателей //Здравоохранение Белоруссии. 1992, №1. - С.51-55.
275. Раздомахин Н.Н. Проект дизайнера одежды - виртуальная трехмерная модель // В мире оборудования. 2002, №11. - С.22-23.
276. Раздомахин Н.Н. Аспекты антропометрического обеспечения одежды: Технология поиска антропометрических точек на фотоизображениях фигуры человека // Швейная промышленность. 2006, №2. - С. 24-25.
277. Раздомахин Н.Н. Проекционные прибавки основа технологии трехмерного проектирования поверхности одежды // Швейная промышленность. 2004, №3. - С. 32-33.
278. Раздомахин Н.Н., Басуев А.Г., Сурженко Е.Я. Трехмерное моделирование одежды // В мире оборудования. – 2003, №3. – С. 42-43.

279. Раздомахин Н.Н., Сурженко Е.Я. Параметры формообразования фигуры человека в технологии трехмерного проектирования одежды // Швейная промышленность. 2007, №4. - С. 57-58.
280. Раздомахин Н.Н., Сурженко Е.Я., Наумович С.В. Трехмерное автоматизированное проектирование в индивидуальном производстве одежды // Швейная промышленность. 2005, № 4. - С. 45-46.
281. Савостицкий А.В. Исследование возможности применения аналитических методов при расчете разверток оболочек для различных поверхностей // Научные труды МТИЛП. 1960, Вып.16. - С.18-29.
282. Сангинова Д.А., Андреева Е.Г., Петросова И.А. Анализ изменчивости длины тела женского населения РТ// Перспективы применения инновационных технологий и усовершенствования технического образования в высших учебных заведениях стран СНГ. Материалы V Междунар. науч.-практ. конф-ции.- Душанбе: ПИТТУ.- 2011.- С.438-442.
283. Сангинова Д.А., Андреева Е.Г., Петросова И.А. Антропоморфологические особенности • внешней формы женских фигур населения Таджикистана // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности.- 2011, Т. 13, № 3.- С.85-87.
284. Сангинова Д.А., Андреева Е.Г., Петросова И.А. Антропоморфологические особенности внешней формы женских фигур населения Таджикистана// Швейная промышленность.- 2011, № 4.- С.28-29.
285. Сангинова Д.А., Андреева Е.Г., Петросова И.А. Применение систем трехмерного сканирования в легкой промышленности// Проблемы и пути развития легкой промышленности Таджикистана. Материалы науч.-практ. конф-ции Республики Таджикистан.- Худжанд: ПИТТУ.- 2013.- С. 72-80.
286. Сидельников Ю.В. Экспертология – новая научная дисциплина // Автоматика и телемеханика. – 2000, № 2. – С. 107-126.
287. Смирнова Н.С., Чижикова Т.П. Возрастная динамика морфологии тела как результат средового влияния // Вопросы антропологии. 2003, № 91. С. 111-127.
288. Соколов П.Н. Опыт выделения морфологических типов по росту, весу, окружности груди и их функциональная характеристика // Русский антропологический журнал. 1930, Вып.3-4. - С136-153.
289. Струневич Е.Ю. Формализация творческих этапов процесса трехмерного проектирования одежды // Дизайн и технологии. – 2010, №1 – С. 42-49.
290. Струневич Е.Ю., Гетманцева В.В., Лопасова Л.В. Актуальность создания реалистичных инженерно-заданных манекенов для проектирования одежды в САПР// САПР и графика. 2008, №10.- С.46-48.
291. Струневич Е.Ю., Гетманцева В.В., Лопасова Л.В. Подсистема художественного проектирования моделей одежды // Швейная промышленность. 2008, №3. – С.45-47.
292. Сурженко Е.Я, Раздомахин Н.Н., Басуев А.А. От расчетно-мерочных систем кроя к системе СТАПРИМ // В мире оборудования. 2004, № 06 (47). - С.52-54.

293. Талант И.Б. Новая схема конституциональных типов женщин // Казанский медицинский журнал. 1927, №5. - С. 548-557.
294. Фроловский В.Д., Ландовский В.В. Разработка и исследование компьютерных методов трехмерного проектирования одежды // Омский научный вестник, 2006. № 3(36). - С. 132-137.
295. Хадакер К. (*Hardaker C.H.*), Фозард Дж. (*Fozzard G.*) Трехмерные компьютерные оболочки для проектирования одежды// В мире оборудования. – 2001. - №2. – С. 16–17.
296. Хонгуанг Е., Кузьмичев В.Е., Колодезная О.Н. Математическое описание изменения формы классической одежды// Современные наукоемкие технологии. 2004, № 1. - С.16-21.
297. Хонгуанг Е., Сяои Чен, Кузьмичев В.Е. Компьютерная программа VISUAL IMAGE для реконструкции и распознавания визуальных образов классических пиджаков и жакетов // Швейная промышленность. 2008, №4. - С. 51-55.
298. Черемисина Т.А., Волкова Е.К. Совершенствование способов переноса графической информации с эскиза в конструкцию модели // Современные наукоемкие технологии и перспективные материалы текстильной и легкой промышленности (Материалы международной научно-технической конференции «ПРОГРЕСС – 2006»), Иваново, 2006.
299. Черемисина Т.А., Мартынова А.И., Волкова Е.К. К вопросу о конструктивных прибавках в изделиях разных размерных групп // Вестник МГУДТ, № 5, 2006.
300. Чтецов В.П. Некоторые итоги и перспективы развития учения о конституциях // Вопросы антропологии. -1972, Вып.40. - С. 93-107.
301. Шершнева Л.П., Усачев Р.Ю. Использование трехмерного сканирования для изучения морфологии тела мужчин больших размеров // Швейная промышленность. 2006, №1. - С.42-43.
302. Щедрин А.С. Антропометрические показатели у мужчин старше 70 лет // Клиническая геронтология. 2001, №10. - С.79-80.
303. Янина В.Н. Применение факторного анализа при выборе основных признаков, лежащих в основе физического развития взрослых женщин // Гигиена и санитария. 1985, №5. - С.56-58.
304. Ярхо А.И. О взаимоотношениях роста, веса и окружности грудной клетки их значение для оценки физического развития человека // Российский антропологический журнал. 1924, №1. - С.3-7.

Зарубежные книги

305. 3D Imaging for safety and security (Computational imaging and vision)/ edited by: *Koschan A., Pollefeys M., Abidi M.* - New York/ Heidelberg: Springer, 2007. - 308 p.
306. 3D Imaging, analysis and applications / by edit. *Pears N., Liu Y., Bunting P.*- New York/ Heidelberg: Springer, 2012. - 521 p.
307. 3D Object processing: Compression, indexing and watermarking/ edited by: *Dugelay J.-L., Baskurt A., Daoudi M.* - NJ :Wiley, 2008. - 210 p.

308. *Bellocchio F., Borghese N.A., Ferrari S., Piuri V.* 3D Surface reconstruction: Multi-scale hierarchical approaches. – Heidelberg : Springer, 2012.- 165 p.
309. *Burgo F.* Il Modellismo, sartoriale e industrial. - Milano: Istituto di moda Burgo, 2009.- 464 p.
310. *Chen C.H.* Handbook of pattern recognition and computer vision /4 ed.- World scientific publishing company, 2010. - 796 p.
311. *Costa L. da F., Cesar Jr.R.M.* Shape classification and analysis: Theory and Practice.- Boca Raton, Florida: CRC press, 2009.- 685 p.
312. *Fan J., Yu W., Hunter L.* Clothing appearance and fit: Science and technology.- Boca Raton, Florida: CRC press, 2004.- 239 p.
313. *Faugeras O.* Three-Dimensional computer vision (Artificial intelligence). - Cambridge, MA: MIT press, 1993. - 695 p.
314. From Geometric modeling to shape modeling: Seventh workshop on geometric modeling: Fundamentals and applications (October 2-4, 2000) / edited by: *Cugini U., Wozny M.* - Heidelberg: Springer, 2002. - 240 p.
315. Geometric modeling: Theory and practice: The state of the art/ edited by: *Straßer W., Klein R., Rau R.* - Heidelberg: Springer, 1997.- 434 p.
316. Geometric modelling: Theoretical and computational basis towards advanced CAD applications/ edited by: *Kimura F.* - Heidelberg: Springer, 2001.- 384 p.
317. *Gordon S.S.* Turn-of-the-century fashion patterns and tailoring techniques: Dover fashion and costumes.- NY.: Dover publications, 2012. - 192 p.
318. *Grundy J.* Design & Technology for a Level.- London: Hodder education, 2008. - 460 p.
319. *Guo J.* 3D Character created by 3D scanner and connection in 3D game engine: The techniques of using 3D scanner.- LAP LAMBERT academic publishing, 2012.- 108 p.
320. Handbook of anthropometry: Physical measures of human form in Health and disease/ edited by: *Preedy V.R.* - Heidelberg: Springer, 2012.- 3000 p.
321. Handbook of virtual humans/ edited by: *Magnenat-Thalmann N., Daniel Thalmann D.*- NJ :Wiley, 2004.- 468 p.
322. *Hockney W., Eastwood J.W.* Computer simulation using particles - New York: McGraw–Hill, 1989. - 540 p.
323. *Hosny Kh., Calleja J. de la* Pattern recognition: Methods and applications. - North charleston: Createspace independent publishing platform, 2013.- 300 p.
324. *Kang H.R.* Color technology for electronic imaging devices.- Washington: SPIE publications, 1997.- 384 p.
325. *Klette R., Schluns K., Koschan A.* Computer vision: Three-dimensional data from images.- Heidelberg: Springer, 1998.- 392 p.
326. *Koch M.* 3D Scanner - Unabridged Guide.- Tebbo, 2012.- 412 p.
327. Machine vision for three dimensional scenes / edited by: Herbert Freeman. – Boston: Academic press.- 1990. - 419 p.
328. *Malik A.S., Choi T.S., Nisar H.* Depth map and 3D imaging applications: algorithms and technologies.- Hershey, PA: IGI Global, 2011.- 648 p.

329. *Medved V.* Measurement of human locomotion.- Boca Raton, Florida: CRC press, 2000.- 272 p.
330. Modeling and simulating bodies and garments/ edited by: *Magenat-Thalmann N.*- Heidelberg: Springer, 2010.- 207 p.
331. *Moosmann F.* Interlacing self-localization, moving object tracking and mapping for 3D range sensors.- Baden-Wuerttemberg: KIT scientific publishing, 2013.- 152 p.
332. *Mortenson M.E.* 3D Modeling, animation, and rendering: An illustrated lexicon. - Createspace independent publishing platform, 2010. - 170 p.
333. *Nakamichi T.* Pattern magic/ пер. с япон. на англ. - London: Laurence king publishers, 2010. - 104 p.
334. Optical measurement of surface topography/ by edit. *Leach R.*- Heidelberg: Springer, 2011.- 340 p.
335. *Pati U.C.* 3D Surface geometry and reconstruction: Developing concepts and applications. - Hershey, PA: IGI global, 2012.- 405 p.
336. *Pentak S., Roth R., Lauer D.A.* Design basics: 2D and 3D (with course mate printed access card)/ 8 ed.- Stamford, Connecticut: Cengage learning, 2012.- 528 p.
337. *Poon T.-C.* Optical scanning holography with MATLAB. - New York/ Heidelberg: Springer, 2007. - 153 p.
338. Principles of 3D Image analysis and synthesis/ edited by: *Girod B., Greiner G., Niemann H.*- Heidelberg: Springer, 2010.- 466 p.
339. *Sarris N., Strintzis M.G.* 3D Modeling and animation: Synthesis and analysis techniques for the human body.- Hershey, PA: IRM press, 2005. - 350 p.
340. Scanner 3D/ French Ed. – Mauritius: Alphascript publishing, 2011.- 72 p.
341. Shape analysis and structuring (Mathematics and visualization)/ edited by: *Floriani L., Spagnuolo M.*- Heidelberg: Springer, 2008.- 296 p.
342. *Shirley P., Ashikhmin M., Marschner S.* Fundamentals of computer graphics. - Natick, Massachusetts: A K Peters/ CRC press, 2009. - 804 p.
343. *Shum H.-Y., Shing-Chow Chan Sh.-Ch., Kang S.B.* Image-based rendering.- Heidelberg: Springer, 2007.- 408 p.
344. *Stroud I.* Boundary representation modelling techniques.- Heidelberg: Springer, 2006.- 788 p.
345. Three-dimensional object recognition systems/ edited by: *Jain A.K., Flynn P.J.* - Elsevier, 1993.- 480 p.
346. Transforming clothing production into a demand-driven, knowledge-based, high-tech industry: The leapfrog paradigm/ Edited by: *Walter L., Kartsounis G.-A., Carosio S.* - New York / Heidelberg: Springer; 2009. - 232 p.
347. *Vaughan W.* Digital Modeling. - San Francisco: New Riders, 2012.- 432 p.
348. *Volino P., Magenat-Thalmann N.* Virtual Clothing. – New York / Heidelberg: Springer. 2000. - 320 p.
349. *Ward A., Randall D., Nevercenter.* 3D Modeling in Silo: The official guide. - Publisher: Focal Press, 2010. - 336 p.
350. *Zhang D., Lu G.* 3D Biometrics: Systems and applications.- Springer, 2013. - 350 p.

Зарубежные статьи

351. *Aghekyan M., Ulrich P., Connell L.* Using body scans in assessing perceptions of body attractiveness and size: cross-cultural study // *International Journal of Fashion Design, Technology and Education.*- 2012, Vol.5, Is.2, No.7.- P.81-89.
352. *Ascher U.M., Boxerman E.* On the modified conjugate gradient method in cloth simulation // *The Visual Computer.* - 2003, Vol.19, Is.7-8, P.526-531.
353. *Attene M., Robbiano F., Spagnuolo M., Falcidieno B.* Characterization of 3D shape parts for semantic annotation // *Computer-Aided Design.*- 2009, Vol.41, Is.10.- P.756-763.
354. *Aubel A., Thalmann D.* MuscleBuilder: A modeling tool for human anatomy // *Journal of Computer Science and Technology.* - 2004, Vol.19, Is. 5.- P.585-595.
355. *Azernikov S., Fischer A.* Emerging non-contact 3D measurement technologies for shape retrieval and processing // *Virtual and Physical Prototyping.*- 2008, Vol.3, Is.2, No.6.- P.85-91.
356. *Baraff D., Witkin A.* Large steps in cloth simulation// In: *Proceedings of SIGGRAPH, Orlando, FL, 19-24 July 1998.*- New York: ACM, 1998. - P.43-54.
357. *Bougourd J.P., Dekker L., Ross P.G., Ward J.P.* A comparison of women's sizing by 3D electronic scanning and traditional anthropometry // *Journal of the Textile Institute.* - 2000, Vol.91, Is.2, No.1.- P.163-173.
358. *Bye E., McKinney E.* Fit analysis using live and 3D scan models // *International Journal of Clothing Science and Technology.* - 2010, Vol.22, Is.2/3.- P.88-100.
359. *Carulli M., Bordegoni M., Cugini U.* An approach for capturing the voice of the customer based on virtual prototyping // *Journal of Intelligent Manufacturing.* - 2013, Vol. 2, Is. 5.- P.887-903.
360. *Chen C.M., LaBat K., Bye E.* Physical characteristics related to bra fit// *Ergonomics.*- 2010.- Vol.53, No.4. - P.514-524.
361. *Chen X., Guo Y., Zhou B., Zhao Q.* Deformable model for estimating clothed and naked human shapes from a single image // *The Visual Computer.* - 2013, Vol.29, Is.11.- P.1187-1196.
362. *Chen Y., Cipolla R.* Single and sparse view 3D reconstruction by learning shape priors // *Computer Vision and Image Understanding.* - 2011, Vol.115, Is. 5.- P.586-602.
363. *Chen Z., Tang K., Joneja A.* Fast and automatic identification of contours for girth measurement on 3D human models with variant postures // *Computer-Aided Design and Applications.*- 2013, Vol.10, Is.2.- P.321-337.
364. *Cho Y.S., Tsuchiya K., Takatera M., Inui S., Park H., Shimizu Y.* Computerized pattern making focus on fitting to 3D human body shapes // *International Journal of Clothing Science and Technology.*- 2010, Vol.22, Is.1.- P.16-24.
365. *Cho Y.S., Tsuchiya K., Takatera M., Inui S., Park H., Shimizu Y.* Posture and depth adjustable 3D body model for individual pattern making // *International Journal of Clothing Science and Technology.*- 2006, Vol.18, Is.2. - P.96-107.

366. *Choi K.-J., Ko H.-S.* Research problems in clothing simulation // *Computer-Aided Design.*- 2005, Vol.37, Is.6.- P.585-592.
367. *Choi S., Ashdown S.* 3D body scan analysis of dimensional change in lower body measurements for active body positions// *Textile Research Journal.*- 2011, Vol. 81, No.1.- P.81-93.
368. *Choudhury S.D., Tjahjadi T.* Gait recognition based on shape and motion analysis of silhouette contours // *Computer Vision and Image Understanding.* - 2013, Vol. 117, Is. 12. – P.1770-1785.
369. *Cugini U., Bordegoni M., Mana R.* The role of virtual prototyping and simulation in the fashion sector // *International Journal on Interactive Design and Manufacturing.*- 2008, Vol. 20, Is. 1.- P.33-38.
370. *Daanen H.A.M., Byvoet M.B.* Blouse sizing using self-reported body dimensions // *International Journal of Clothing Science and Technology.*- 2011, Vol.23, Is.5.- P.341-350.
371. *Delamore P., Sweeney D.* Everything in 3D: developing the fashion digital studio // In: *Proceedings of the International Conference on 3D Bodyscanning Technologies.* - Switzerland: Hometrica Consulting, 2010.- P. 383-395.
372. *Díaz-Más L., Madrid-Cuevas F.J., Muñoz-Salinas R., Carmona-Poyato A., Medina-Carnicer R.* An octree-based method for shape from inconsistent silhouettes // *Pattern Recognition.*- 2012, Vol.45, Is.9.- P. 3245-3255.
373. *Ding Y.S., Xu Y.C.* Intelligent optimal selection of garment sizes by using immune algorithm and AHP method // *Journal of the Textile Institute.* - 2008, Vol.99, Is.3. - P.281-286.
374. *Fontana M., Rizzi C., Cugini U.* 3D virtual apparel design for industrial applications // *Computer-Aided Design.*- 2005, Vol.37, Is.6.- P.609-622.
375. *Gam H.J., Cao H., Farr Ch., Heine L.* C2CAD: a sustainable apparel design and production model // *International Journal of Clothing Science and Technology.*- 2009, Vol.21, Is.4.- P.166-179.
376. *Gutiérrez A.M., García-Rojas A., Thalmann D., Vexo F., Mocozet L., Magnenat-Thalmann N., Mortara M., Spagnuolo M.* An ontology of virtual humans // *The Visual Computer.* - 2007, Vol.23, Is.3.- P.207-218.
377. *Han H., Nam Y., Shin S.-J.H.* Algorithms of the automatic landmark identification for various torso shapes // *International Journal of Clothing Science and Technology.*- 2010, Vol.22, Is.5. P.343-357.
378. *Haro G.* Shape from silhouette consensus // *Pattern Recognition.*- 2012, Vol.45, Is.9.- P. 3231-3244.
379. *Hinds B.K., McCartney J.* Interactive garment design // *The Visual Computer.* - 1990, Vol.6, Is.2.- P.53-61.
380. *Hirano D., Funayama Y., Maekawa T.* 3D Shape reconstruction from 2D images// *Computer-Aided Design and Applications.*- 2009, Vol.6, Is.5, No.1.- P.701-710.
381. *Hlaing E.C., Krzywinski S., Roedel H.* Garment prototyping based on scalable virtual female bodies // *International Journal of Clothing Science and Technology.*- 2013, Vol.25, Is.3.- P.184-197.

382. *Hofmann M., Gavrilu D.M.* 3D Human model adaptation by frame selection and shape–texture optimization // *Computer Vision and Image Understanding.*- 2011, Vol. 115, Is. 11.- P.1559-1570.
383. *Hsiao H., Bradtmiller B., Whitestone J.* Sizing and fit of fall-protection harnesses // *Ergonomics.*- 2003, Vol.46, Is.12.- P.1233-1258.
384. *Hu X., Xu B.* Reconstruction of individualized dress forms using parameterized silhouettes // *International Journal of Clothing Science and Technology.* - 2010, Vol.22, Is.2/3.- P.114-126.
385. *Hu Z.-H., Ding Y.-S., Zhang W.-B., Yan Q.* An interactive co-evolutionary CAD system for garment pattern design // *Computer-Aided Design.*- 2008, Vol. 40, Is. 12.- P.1094-1104.
386. *Ilea D.E., Whelan P.F.* Image segmentation based on the integration of color - texture descriptors - A review// *Pattern Recognition.*- 2011, Vol.44, Is.10-11.- P.2479-2501.
387. *Jiang K., Lee H.L., Seifert R.W.* Satisfying customer preferences via mass customization and mass production// *IIE Transactions.*- 2006, Vol.38, Is.1.-P.25-38.
388. *Jones P.R.M., Li P., Brooke-Wavell K., West G.* Format for human body modeling from 3-D body scanning// *International Journal of Clothing Science and Technology.*- 1995, Vol.7, No.1.- P.7-16.
389. *Kasap M., Magnenat-Thalmann N.* Skeleton-aware size variations in digital mannequins// *The Visual Computer.* - 2011, Vol.27, Is.4.- P.263-274.
390. *Kenkare N., Lamar T.A.M., Pandurangan P., Eischen J.* Enhancing accuracy of drape simulation. Part I: Investigation of drape variability via 3D scanning// *Journal of the Textile Institute.*- 2008, Vol.99, Is.3, No.6. – P.211-218.
391. *Kim C.H., Sul I.H., Park C.K., Kim S.* Automatic basic garment pattern generation using three-dimensional measurements // *International Journal of Clothing Science and Technology.* – 2010, Vol.22, Is.2/3.- P.101-113.
392. *Kim D.-E., LaBat K.* Consumer experience in using 3D virtual garment simulation technology// *Journal of the Textile Institute.* – 2013, Vol.104, Is.8.- P.819-829.
393. *Kim H., Damhorst M.L.* The Relationship of body-related self-discrepancy to body dissatisfaction, apparel involvement, concerns with fit and size of garments, and purchase intentions in online apparel shopping // *Clothing and Textiles Research Journal.*- 2010, Vol.28, Is.4.- P.239-254.
394. *Kozar J.M., Damhorst M.L.* Comparison of the ideal and real body as women age: Relationships to age identity, body satisfaction and importance, and attention to models in advertising// *Clothing and Textiles Research Journal.*- 2009, Vol.27, Is.3.- P.197-210.
395. *Laurentini A.* The Visual Hull Concept for Silhouette-Based Image Understanding// *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence.*- 1994, Vol.16, Is.2.- P.150-162.
396. *Lee J.Y.-C., Joneja A.* A study on parametric shape modifications of 3D skeletal models// *Computer-Aided Design and Applications.*- 2014, Vol.11, Is.1, No.1.- P.90-98.

397. *Lee Y., Hong K.* Development of indirect method for clothing pressure measurement using three-dimensional imaging // *Textile Research Journal.*- 2013, Vol.83, No.15.- P.1594-1605.
398. *Lee Y.-A., Damhorst M.L., Lee M.-S., Kozar J.M., Martin P.* Older women's clothing fit and style concerns and their attitudes toward the use of 3D body scanning // *Clothing and Textiles Research Journal.*- 2012, Vol.30, Is.2.- P.102-118.
399. *Leong I.-F., Fang J.-J., Tsai M.-J.* A feature-based anthropometry for garment industry // *International Journal of Clothing Science and Technology.* - 2013, Vol.25, Is.1.- P.6-23.
400. *Leong I.-F., Fang J.-J., Tsai M.-J.* Automatic body feature extraction from a marker-less scanned human body // *Computer-Aided Design.*- 2007, Vol.39, Is.7.- P.568-582.
401. *Li J., Chen J.* A mannequin modeling method based on section templates and silhouette control // *International Journal of Clothing Science and Technology.* - 2009, Vol.21, Is.5.- P.300-310.
402. *Liu H., Zhong Y., Wang S.* Mesh topology in scanned garment reconstruction // *International Journal of Clothing Science and Technology.*- 2011, Vol.23, Is.2/3.- P.170-183.
403. *Liu H., Zhong Y., Wang S.* Subdivision on reusable garment model // *International Journal of Clothing Science and Technology.* - 2012, Vol.24, Is.2-3.- P.71-78.
404. *Loker S., Cowie L., Ashdown S., Lewis V.D.* Female consumers' reactions to body scanning // *Clothing and Textiles Research Journal.* - 2004, Vol.22, Is.4. – P.151-160.
405. *Luo Z.G., Yuen M.M.F.* Reactive 2D/3D garment pattern design modification // *Computer-Aided Design.*- 2005, Vol.37, Is.6.- P. 623–630.
406. *Ma Y.-Y., Zhang H., Jiang S.-W.* Realistic modeling and animation of human body based on scanned data // *Journal of Computer Science and Technology.* - 2004, Vol.19, Is. 4.- P.529-537.
407. *Magenat-Thalmann N., Kevelham B., Volino P., Kasap M., Lyard E.* 3D Web-based virtual try on of physically simulated clothes// *Computer-Aided Design and Applications.*- 2011, Vol.8, Is.2, No.1.- P.163-174.
408. *Magenat-Thalmann N., Seo H., Cordier F.* Automatic modeling of virtual humans and body clothing// *Journal of Computer Science and Technology, Chinese Academy of Sciences.* 2004, Vol.19, No.5. – P.575-584.
409. *Magenat-Thalmann N., Thalmann D.* Virtual humans: thirty years of research, what next?// *The Visual Computer.*- 2005, Vol. 21. Vol.21, Is.12.- P.997-1015.
410. *Mah T., Song G.* An investigation of the assessment of fabric drape using three-dimensional body scanning// *Journal of the Textile Institute.*- 2010, Vol.101, Is.4, No.3.- P.324-335.
411. *Mahfouz A.Y.* An apparel retailer's success story: Bridging the Gap between physical and virtual shopping// *Journal of Internet Commerce.*- 2005, Vol.4, Is.2, No7.- P.49-64.

412. *Martínez J., García A.S., Molina J.P., Martínez D., González P.* An empirical evaluation of different haptic feedback for shape and texture recognition. // *The Visual Computer*.- 2013, Vol.29, Is.2.- P.111-121.
413. *Matsuyama T., Wu X., Takai T., Nobuhara S.* Real-time 3D shape reconstruction, dynamic 3D mesh deformation, and high fidelity visualization for 3D video // *Computer Vision and Image Understanding*.- 2004, Vol.96, Is. 3.- P.393-434.
414. *Meng Y., Mok P.Y., Jin X.* Interactive virtual try-on clothing design systems // *Computer-Aided Design*.- 2010, Vol. 42, Is. 4.- P.310-321.
415. *Mesquita Sá Junior J.J. de , Backes A.R.* A simplified gravitational model to analyze texture roughness // *Pattern Recognition*.- 2012, Vol.45, Is.2.- P. 732-741.
416. *Mpampa M.L., Azariadis P.N., Sapidis N.S.* A new methodology for the development of sizing systems for the mass customization of garments // *International Journal of Clothing Science and Technology*. - 2010, Vol.22, Is.1.- P.49-68.
417. *Nievergelt J.K.* Esthetic breast surgery// *Therapeutische Umschau*.- 1999. – Vol.56, No.4. – P.176-181.
418. *Nüchter A., Elseberg J., Schneider P., Paulus D.* Study of parameterizations for the rigid body transformations of the scan registration problem // *Computer Vision and Image Understanding*. - 2010, Vol.114, Is. 8.- P.963-980.
419. *Oberhofer K., Mithraratne K., Stott N.S., Anderson I.A.* Anatomically-based musculoskeletal modeling: prediction and validation of muscle deformation during walking// *The Visual Computer*. - 2009, Vol.25, Is.9. - P.843-851.
420. *Oh S., Kim H., Magnenat-Thalmann N., Wohn K.* Generating unified model for dressed virtual humans // *The Visual Computer*. - 2005, Vol.21, Is.8-10.- P.522-531.
421. *Pandarum R., Yu W., Hunter L.* 3D breast anthropometry of plus-sized women in South Africa// *Ergonomics*.- 2011.- Vol.54, No.9.- P.866-875.
422. *Park H., Kincade D.H.* Historical analysis of apparel marketer's strategies: Evidence from a Nike case // *Journal of Global Fashion Marketing*.- 2010, Vol.1, Is.3, No.8.- P.182-193.
423. *Park S., Aggarwal J.K.* Simultaneous tracking of multiple body parts of interacting persons // *Computer Vision and Image Understanding*.- 2006, Vol.102, Is. 1.- P.1-21.
424. *Park S.M., Choi K.M., Nam Y.J., Young-A Lee Y.-A.* Multi-purpose three-dimensional body form // *International Journal of Clothing Science and Technology*.- 2011, Vol.23, Is.1.- P.8-24.
425. *Pepper M.R., Freeland-Graves J.H., Yu W., Stanforth P.R., Xu B.* Evaluation of a rotary laser body scanner for body volume and fat assessment // *Journal of Testing and Evaluation*. – 2011, Vol.39, Is.1. - P.1-6.
426. *Petrova A., Ashdown S.P.* Comparison of garment sizing systems // *Clothing and Textiles Research Journal*.- 2012, Vol.30, Is.4, No.10.- P.267-284.
427. *Piegl L.A., Tiller W.* Surface approximation to scanned data// *Visual Computer*. - 2000, Vol.16, Is.7. - P.386-395.

428. *Pise U.V., Bhatt A.D., Srivastava R.K.* Finite element mesh generation of human body segment in 2-D and 3-D using B-spline method // *Computer-Aided Design and Applications.*- 2012, Vol.9, Is.3, No.1. – P.307-320.
429. *Portilla J., Simoncelli E.* A parametric texture model based on joint statistics of complex wavelets coefficients // *International Journal of Computer Vision.*- 2000, Vol.40, Is.1. – P.49-70.
430. *Premachandran V., Kakarala R.* Perceptually motivated shape context which uses shape interiors // *Pattern Recognition.*- 2013, Vol.46, Is.8.- P.2092–2102.
431. *Remondino F.* 3-D reconstruction of static human body shape from image sequence // *Computer Vision and Image Understanding.* - 2004, Vol. 93, Is. 1.- P.65-85.
432. *Rong Z., Winnie Y., Jintu F.* Development of a new Chinese bra sizing System Based on Breast Anthropometric Measurements// *International Journal of Industrial Ergonomics.*- 2007.- Vol.37, No.8.- P.697–705.
433. *Ross F.* Refashioning London's bespoke and demi-bespoke tailors: new textiles, technology and design in contemporary menswear // *Journal of the Textile Institute.* - 2007, Vol.98, Is.3, No.8.- P.281-288.
434. *Satam D., Liu Y., Lee H.J.* Intelligent design systems for apparel mass customization // *Journal of the Textile Institute.*- 2011, Vol.102, Is.4,No.4.- P.353-365.
435. *Sayem A.S.M., Kennon R., Clarke N.* 3D CAD systems for the clothing industry // *International Journal of Fashion Design, Technology and Education.*- 2010, Vol.3, Is.2, No.7.- P.45-53.
436. *Schwarz L.A., Mateus D., Navab N.* Recognizing multiple human activities and tracking full-body pose in unconstrained environments // *Pattern Recognition.*- 2012, Vol.45, Is.1.- P.11-23.
437. *Smeets D., Hermans J., Vandermeulen D., Suetens P.* Isometric deformation invariant 3D shape recognition // *Pattern Recognition.*- 2012, Vol.45, Vol.45, Is.7.- P. 2817-2831.
438. *Sohn M., Bye E.* Visual analysis of body shape changes during pregnancy// *International Journal of Fashion Design, Technology and Education.*- 2012, Vol.5, Is.2, No.7.- P.117-128.
439. *Song H.K., Ashdown S.P.* An exploratory study of the validity of visual fit assessment from three-dimensional scans // *Clothing and Textiles Research Journal.* - 2010, Vol.28, Is.4.- P.263-278.
440. *Song H.K., Ashdown S.P.* Development of automated custom-made pants driven by body shape // *Clothing and Textiles Research Journal.* - 2012, Vol.30, Is.4.- P.315-329.
441. *Song H.K., Ashdown S.P.* Female apparel consumers' understanding of body size and shape: Relationship among body measurements, fit satisfaction, and body cathexis// *Clothing and Textiles Research Journal.*- 2013, Vol.31, Is.3.- P.143-156.
442. *Starck J., Hilton A.* Model-based human shape reconstruction from multiple views // *Computer Vision and Image Understanding.*- 2008, Vol.111, Is.2.- P.179-194.

443. *Sul I.H.* Style previewing in 3D using name-based sewing rules // International Journal of Clothing Science and Technology. - 2010, Vol.22, Is.2/3.- P.127-144.
444. *Sul I.H., Kang T.J.* Regeneration of 3D body scan data using semi-implicit particle-based method // International Journal of Clothing Science and Technology.- 2010, Vol.22, Is.4.- P.248-271.
445. *Tan K.T.W., Johnson G., Kelleher J., Avis N.J., Withers P.J.* The engineering body scanner concept// Journal of Neutron Research.- 2003, Vol.11, Is.4, No.12.- P.247-253.
446. *Tao X., Bruniaux P.* Toward advanced three-dimensional modeling of garment prototype from draping technique // International Journal of Clothing Science and Technology.- 2013, Vol. 25, Is.4.- P.266-283.
447. *Taylor A., Unver E., Worth G.* Innovative potential of 3D software applications in fashion and textile design // Digital Creativity.- 2003, Vol.14, Is.4, No.12.- P.211-218.
448. *Ukita N., Kanade T.* Reference consistent reconstruction of 3D cloth surface // Computer Vision and Image Understanding.- 2012, Vol. 116, Is. 8.- P.869-881.
449. *Volino P., Cordier F., Magnenat-Thalmann N.* From early virtual garment simulation to interactive fashion design// Computer-Aided Design Journal.- 2005, Vol.37., Is.6.- P.593-608.
450. *Vuruskan A., Bulgun E.* Identification of female body shapes based on numerical evaluations // International Journal of Clothing Science and Technology.- 2011, Vol.23, Is.1.- P.46-60.
451. *Wang C.C.L.* CAD tools in fashion/ Garment design // Computer-Aided Design and Applications. 2004, Vol.1, Is.1.- P.53-62.
452. *Wang C.C.L.* Parameterization and parametric design of mannequins // Computer-Aided Design. – 2005, Vol.37, Is. 1.- P.83-98.
453. *Wang C.C.L., Chang T.K.K., Yuen M.M.F.* From laser-scanned data to feature human model: a system based on fuzzy logic concept // Computer-Aided Design. - 2003, Vol.35, Is. 3. - P.241-253.
454. *Wang C.C.L., Wang Y., Chang T.K.K., Yuen M.M.F.* Virtual human modeling from photographs for garment industry // Computer-Aided Design.- 2003, Vol. 35, Is. 6.- P.577-589.
455. *Wang C.C.L., Wang Y., Yuen M.M.F.* Design automation for customized apparel products // Computer-Aided Design.- 2005, Vol.37, Is.7.- P.675-691.
456. *White J., Scurr J.* Evaluation of professional bra fitting criteria for bra selection and fitting in the UK// Ergonomics.- 2012.- Vol.55, No.6.- P.704-711.
457. *Wuhrer S., Shu C., Xi P.* Landmark-free posture invariant human shape correspondence // The Visual Computer. - 2011, Vol.27, Is.9.- P. 843-852.
458. *Xu B., Huang Y.* Three-dimensional technology for apparel mass customization: Part I: Body scanning with rotary laser stripes // Journal of the Textile Institute.- 2003, Vol.94, Is.1-2, No.1.- P.72-80.
459. *Xu B., Sreenivasan S.V.* A 3-D body imaging and measurement system for apparel customization // Journal of the Textile Institute.- 1999, Vol. 90, Is. 2, No1. – P.104-120.

460. *Xu B., Yu W., Chen T., Huang Y.* Three-dimensional technology for apparel mass customization: Part II: Human body modeling from unorganized range data // *Journal of the Textile Institute.*- 2003, Vol.94, Is.1-2, No.1. – P.81-91.
461. *Xu B., Zhong Y.* Three-dimensional technology for apparel mass customization: Part III: visualization of three-dimensional garments // *Journal of the Textile Institute.*- 2003, Vol.94, Is.1-2, No.1.- P.92-102.
462. *Yasseen Z., Nasri A., Boukaram W., Volino P., Magnenat-Thalmann N.* Sketch-based garment design with quad meshes // *Computer-Aided Design.*- 2013, Vol. 45, Is. 2.- P.562-567.
463. *Yi L., Aihua M., Ruomei W., Xiaonan L., Zhong W., Wenbang H., Liya Z., Yubei L.* P-smart a virtual system for clothing thermal functional design // *Computer-Aided Design.* - 2006, Vol.38, Is. 7.- P. 726-739.
464. *Yin X., Corner B.D., Razdan A.* EARS: A system for geometric and anthropometric evaluation of human body scans// *Computer-Aided Design and Applications.*- 2009, Vol.6, Is.4, No.1.- P.431-445.
465. *Yu M., Wang Y., Wang Y., Li J.* Correlation between clothing air gap space and fabric mechanical properties // *Journal of the Textile Institute.*- 2013, Vol.104, Is.1, No.1.- P.67-77.
466. *Zagorchev L., Goshtasby A.* A paintbrush laser range scanner // *Computer Vision and Image Understanding.* – 2006, Vol. 101, Is.2. – P.65-86.
467. *Zhao H.-K., Osher S., Merriman B., Kang M.* Implicit non-parametric shape reconstruction from unorgnized data using variational level set method // *Computer Vision and Image Understanding.* - 2000, Vol.80, Is.3. – P.295–314.
468. *Zhao X., Li B., Wang L., Kaufman A.E.* Texture-guided volumetric deformation and visualization using 3D moving least squares // *The Visual Computer.* - 2012, Vol.28, Is.2. - P.193-204.
469. *Zhu S., Mok P.Y., Kwok Y.L.* An efficient human model customization method based on orthogonal-view monocular photos // *Computer-Aided Design.*- 2013, Vol.45, Is.11.- P.1314–1332.
470. *Zong Y., Lee Y.-A.* An exploratory study of integrative approach between 3D body scanning technology and motion capture systems in the apparel industry// *International Journal of Fashion Design, Technology and Education.*- 2011, Vol.4, Is.2, No.7.- P.91-101.

Патенты, свидетельства

471. Патент на изобретение № 21965 SU Приспособление для снятия мерок / И.М. Семячкин, А.И. Семячкин, заявл. 10.10.1930, опубл. 31.08.1931.
472. Патент на изобретение № 42520 SU Приспособление для снятия мерки / Г.Н. Жданов; заявл. 20.06.1934; опубл. 30.04.1935.
473. Патент на изобретение № 508247 SU Устройство для обмера фигуры человека / В.Г. Поляков, Е.Л. Андреев, П.Г. Вайнштейн, А.Д. Зятиков, Н.В. Касаткин, В.И. Наймарк, В.Я. Поспелов; опубл. 30.03.1976, Бюл. № 12.
474. Патент на изобретение № 549138 SU Устройство для снятия мерок с фигуры человека / Л.Ю. Иорт; опубл. 05.03.1977, Бюл. №9 (45).
475. Патент на изобретение № 563961 SU Способ определения эргономических показателей качества конструкции плечевых швейных

- изделий на фигуре человека и устройство для осуществления способа / Е.Б. Коблякова, В.В. Размахнина, В.И. Комин; патентообладатель – МТИЛП; опубл. 05.07.1977, Бюл. № 25 (45).
476. Патент на изобретение № 745488 SU. Устройство для обмера фигуры / Л.А. Агошков, А.Н. Дыков, Н.К. Пархомец; заявитель – КТИЛП; заявл. 30.06.78; опубл. 07.07.80. Бюл. № 25 (53).
477. Патент на изобретение № 858739 SU. Устройство для оценки качества посадки плечевых швейных изделий / А.В. Соколов, И.И. Иигальцо, П.П. Коэи, С.И. Сечина// заявитель - Укр. НИИШП; заявл. 19.04.79; опубл. 30.08.81. Бюл. № 32.
478. Патент на изобретение № 936874 SU. Устройство для обмера фигуры человека / Иванов М.Н., Колбасин В.М., Пищиков А.Д., Поляков В.Г., Сенекин М.Б., Титов Л.Н., Хавкин В.П.; заявители: ВНИИЛТМ и ИППИ АН СССР; опубл.: 23.06.1982. Бюл. №23.
479. Патент на изобретение № 963498 SU. Мерочный жакет/ М.Л. Воронин, В.У. Несмиян; заявители: фабрика индпошива и ремонта одежды №3 г. Киева и Республиканский дом моделей; заявл. 04.01.1979; опубл. 07.10.82; Бюл.№ 37.
480. Патент на изобретение № 991989 SU. Механизм углового сканирования к устройству для обмера фигуры человека / М.Н. Иванов, В.Г. Поляков, М.Б. Сенекин, В.П. Хавкин; заявители: ВНИИЛТМ и ИППИ АН СССР; заявл. 17.07.1981; опубл.: 30.01.1983; Бюл. №4.
481. Патент на изобретение № 1510827 SU. Мерочный жакет/ М.Л. Воронин, В.М. Белошицкий, В.Д. Щадырь; заявители: КПИ им. 50-летия Великой Октябрьской социалистической революции и фабрика индпошива и ремонта одежды №3 г. Киева; заявл. 06.07.1987; опубл. 30.09.89; Бюл.№ 36.
482. Патент на изобретение № 2019109 RU. Устройство для снятия мерок / Салихова З.Р.; опубл. 15.09.1994.
483. Патент на изобретение № 5636030 US. Optical method and apparatus for measuring surface topography of an object / Limbach D.C.; заявл. 01.05.1995; опубл. 03.06.1997.
484. Патент на изобретение № 2128931 RU. Устройство и способ пошива на заказ и изготовления одежды выбранной модели и формы (варианты) и способ сбора информации о размерах для пошива на заказ и изготовления одежды выбранной модели и формы/ Сунг Киу Парк (US), Бет М.Палмер (US), Джеральд С.Рудерман (US); патентообладатель: Кастом Клозинг Текнолоджи Корпорейшн (US); опубл. 20.04.1999.
485. Патент на изобретение № 2154391 RU. Способ компьютерного моделирования одежды // Зак И.С., Сизова Р.И., Марченко О.Д.; опубл. 20.08.2000.
486. Патент на изобретение №2001329423 JP. Method for forming three-dimensional paper pattern of clothing, method for preparing paper pattern of clothing, apparatus for forming three-dimensional paper pattern of clothing and apparatus for preparing paper pattern of clothing. Метод и устройство для трехмерного изготовления лекал одежды / Nakakoji T.; Kurihara T.;

патентообладатель: Wascoal CORP; Hitachi LTD; заявл.: 18.05.2000; опубл.: 27.11.2001.

487. Патент на изобретение № 2179404 RU. Устройство для снятия мерок с фигуры человека / Цимбал Т.В. (UA), патентообладатель – КГУТД; заявл. 14.04.2000; опубл. 20.02.2002

488. Патент на изобретение № 2199716 RU. Способ бесконтактного контроля линейных размеров трехмерных объектов / Колючкин В.Я.; Климов А.В.; Юхин А.Л.; патентообладатель: А4 Визион С.А. (CH); заявл.: 31.01.2001; опубл. 27.02.2003.

489. Патент на изобретение № 2199718 RU. Устройство для бесконтактного контроля и распознавания поверхностей трехмерных объектов / Климов А.В. (RU); Суховой С.В. (RU); Юхин А.Л. (RU); ЭСПОЗИТО Антонио (FR); патентообладатель: А4 Визион С.А. (CH); заявл.: 11.12.2001; опубл. 27.02.2003.

490. Патент на изобретение № 2208370 RU. Способ бесконтактного измерения топографии поверхности объекта и устройство для его осуществления // Чернов В.П., Чернова Н.В., Раздомахин Н.Н., Сурженко Е.Я., Авдеев А.П., Чернова В.В.; патентообладатель – СПбГУТД; опубл. 20.07.2003.

491. Патент на изобретение № 2211440 RU. Способ оптического измерения формы поверхности трехмерного объекта/ Левин Г.Г., Вишняков Г.Н.; заявл.: 22.01.2002; опубл.: 27.08.2003.

492. Патент на изобретение № 2211652 RU. Способ бесконтактного измерения внешней формы тела человека // Кривобородова Е.Ю., Покровская О.В.; патентообладатель – МГУДТ; опубл. 10.09.2003.

493. Патент на изобретение №2225151 RU Способ построения шаблонов лекал смежных деталей швейного изделия / Сурикова О.В., Кузьмичев В.Е., Сурикова Г.И.; патентообладатель: ИГТА; заявл.: 10.06.2002; опубл.: 10.03.2004.

494. Патент на изобретение №1514390 CN Clothing CAD Sheeting method. Способ автоматизированного проектирования специальной одежды / Song Y.; заявл.: 06.03.2003; опубл.: 21.07.2004.

495. Патент на изобретение №2005188015 JP. Design support system for making pattern of garment. Система моделирования лекал одежды / Koyama S.; Hojo H.; Harita K.; Naggiwara T.; патентообладатель: Shohi Kagaku Kenkyusho KK, River Stone CO LTD; заявл. 18.07.2003; опубл.: 10.02.2005.

496. Патент на изобретение № 2251382 RU. Устройство для бесконтактного снятия проекционных размеров объекта/ Петросова И.А., Коблякова Е.Б. // патентообладатель: МГУДТ; заявл. 31.03.2004; опубл. 10.05.2005, Бюл. № 13.

497. Патент на изобретение №2005036371 JP. Designing procedure using 3-dimensional model form in apparel industry. Трехмерное проектирование одежды в швейной промышленности / Koyama S.; Hojo H.; Harita K.; Naggiwara T.; патентообладатель: Shohi Kagaku Kenkyusho KK, River Stone CO LTD; заявл.12.05.2004; ;опубл.: 14.07.2005.

498. Патент на изобретение № 2264768 RU. Способ бесконтактного измерения прямых линейных размерных признаков фигуры человека/ Раздомахин Н.Н., Басуев А.Г., Калитеевский Н.А., Сурженко Е.Я.; опубл. 27.11.2005.
499. Патент на изобретение № 2270593 RU. Способ формирования предмета одежды, соответствующего форме тела индивидуума/ Канатани Макото (JP), Накаяма Матико (JP); патентообладатель: Хокуруку СТР Кооператив; опубл. 20.08.2005.
500. Патент на изобретение №2355026 RU Система графического интерфейса / Мэй Б., Рамстейн Э., Шедмэ П.; патентообладатель: СНЕКМА МОТОРС; заявл.: 29.03.2004; опубл.: 20.09.2005.
501. Патент на изобретение №2355030 RU Способ и система для перемещения виртуальной модели человека в виртуальной среде / Мэй Б., Рамстейн Э., Шедмэ П.; патентообладатель: СНЕКМА МОТОРС; заявл.: 21.04.2004; опубл.: 20.10.2005.
502. Патент на изобретение №1773512 CN Clothes structural intelligent designing method. Метод структурного интеллектуального проектирования одежды / Wu L.W.; заявл.: 08.11.2004; опубл.: 17.05.2006.
503. Патент на изобретение № 2296947 RU. Способ бесконтактного обмера тел со сложной формой поверхности / Семенякин С.В., Родэ С.В., Фукин В.А.; заявитель –МГУДТ; заявл.: 28.03.2005; опубл.: 10.04.2007.
504. Патент на изобретение № 2303238 RU. Курвиметр с оптическим целеуказателем / Петросова И.А., Мартынова А.И.; патентообладатель – МГУДТ; заявл. 15.03.2006; опубл. 20.07.2007, Бюл.№ 20.
505. Патент на изобретение № 2007203608 KR Method for 3 dimensional textile design and a computer-readable storage medium storing a textile design program. Метод и компьютерная программа трехмерного проектирования и распознавания ткани / Kang К.-У.; заявл.: 24.10.2005; опубл.: 30.08.2007.
506. Патент на изобретение № 2311615 RU. Способ бесконтактного определения проекционных размеров объекта и получения его трехмерной модели / Петросова И.А., Коблякова Е.Б.; патентообладатель - МГУДТ; заявл. 13.07.2005; опубл. 27.11.2007, Бюл. № 33.
507. Патент на изобретение № 2315352 RU. Способ и система для автоматического обнаружения трехмерных образов/ Мурынин А.Б.(RU), Базанов П.В. (RU), Десятчиков А.А. (RU), Мун В.Д. (KR), Лии Я.Дж. (KR), Янг Х.К. (KR); патентообладатели: Самсунг Электроникс Ко., Лтд. (KR); Корпорация С1 (KR); заявл.:02.11.2005; опубл.: 20.01.2008.
508. Патент на изобретение №2325691 RU Способ автоматического построения трехмерной геометрической модели изделия в системе геометрического моделирования / Шипунов А.Г., Кузнецов В.М., Юдаев А.В., Привалова Т.В., Шуваев А.А, Махонин В.В.; патентообладатель: ГУП "Конструкторское бюро приборостроения"; заявл.: 24.08.2006; опубл.: 27.05.2008.

509. Патент на изобретение №2396599 RU Способ отображения трехмерного аватара и система, осуществляющая этот способ / патентообладатель: ТЕНСЕНТ ТЕКНОЛОДЖИ (Шэньчжэнь) Компани Лимитед; заявл.: 31.12.2006; опубл.: 08.10.2008.
510. Патент на изобретение №101364308 CN Three-dimensional clothing exhibition and editing method based on CAD garment piece. Трехмерное представление одежды и метод проектирования одежды на основе автоматизированного изменения деталей / R.Wang, J.Li, Z.Wang; патентообладатель: Univ. Zhongshan; заявл.: 26.09.2008; опубл.: 11.02.2009.
511. Патент на изобретение № US2009099683 USA Device and Method for Designing a Garment. Устройство и метод моделирования одежды / Lastra J.J., Yeres R.; патентообладатель: LECTRA SA; заявл.: 19.12.2005; опубл.: 16.04.2009.
512. Патент на изобретение №2356481 RU Способ разработки модельной конструкции женской одежды / Сильчева Л.В., Медведева Т.В.; патентообладатель: МГУС; заявл.: 26.07.2007; опубл.: 27.05.2009.
513. Патент на изобретение №2390835 RU Система и способ генерации трехмерных чертежей / Ли Ч.-Ю., Ли Дж.-Х., Ли Дж.-М.; заявл.: 19.04.2006; опубл.: 10.06.2009.
514. Патент на изобретение № 2358628 RU Способ проектирования одежды на основе бесконтактной антропометрии / Корнилова Н.Л., Бушков С.Н., Васильев Д.А., Горелова А.Е., Сеницкий А.И.; патентообладатель: ООО «Центр наукоемких инновационных технологий для швейной промышленности», Иваново; заявл.10.10.2008; опубл.20.06.2009.
515. Патент на изобретение №2474874 RU. Способ и устройство генерирования параметрической модели, связанной с геометрией трехмерных объектов / Брандл К., Суш С.; патентообладатель: ЭРБЮС; заявл.: 12.05.2006; опубл.:27.06.2009г.
516. Патент на изобретение № 2388606 RU. Способ получения трехмерного объекта сложной формы / Петросова И.А., Андреева Е.Г., Мартынова А.И.// патентообладатель: МГУДТ; заявл. 06.10.2008; опубл. 10.05.2010, Бюл. № 13.
517. Патент на изобретение № 2403836 RU Способ обмера кисти для изготовления перчаток// Сумарокова Т.М., Захарова Л.А., Тулупов О.К.; патентообладатель – СПбГУТД; заявл.: 19.11.2009; опубл.: 20.11.2010.
518. Патент на изобретение №2011218664 USA Fashion design method, system and apparatus. Способ, устройство и метод проектирования одежды / Zeng B.L.; заявл.: 03.04.2010; опубл.: 09.08.2011.
519. Патент на изобретение № 2433372 RU. Способ бесконтактного измерения линейных размеров трехмерных объектов / Двойнишников С.В., Меледин В.Г.; патентообладатели: ИТ СО РАН, ОАО "ИОИТ; заявл.: 10.09.2009; опубл.: 10.11.2011.
520. Патент на изобретение № US2011298897 USA System and method for 3D virtual try-on of apparel on an avatar. Метод и система для трехмерной виртуальной примерки одежды на аватаре / Sareen R., Sareen I., Delevan J.B.,

Vishnevsky V.; патентообладатель: LECTRA SA ; заявл.: 08.06.2010; опубл.: 08.12.2011.

521. Патент на изобретение № 2469265 RU. Устройство для бесконтактного измерения линейных размеров трехмерных объектов / Тымкул В.М., Фесько Ю.А.; патентообладатель: ФГБОУ ВПО «СГГА»; заявл.: 17.06.2011; опубл.: 10.12.2012.

522. Патент на изобретение № 2491503 RU Способ распознавания трехмерной формы объектов / Тымкул В.М., Тымкул Л.В., Фесько Ю.А.; патентообладатель: ФГБОУ ВПО "СГГА" опубл. 27.08.2013.

523. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2010616185 РФ. Бесконтактный измерительный комплекс /Петросова И.А., Андреева Е.Г., Клочков Р.С.// патентообладатель - Минпромторг РФ; заявл. 08.10.2010; зарег. 20.10.2010.

Электронные ресурсы

524. Антропологические инструменты. URL:<http://www.antropolog-instrument.ru/> (дата обращения: 07.12.2013)

525. Метрология. Метрологическое обеспечение производства. URL:<http://www.metrob.ru/> (дата обращения: 07.12.2013)

526. Экспертное оценивание. URL: http://ru.wikipedia.org/wiki/Экспертное_оценивание (дата обращения: 07.12.2013)

527. 3D body scanner Vitus Smart Human Solutions GmbH URL:www.human-solutions.com/fashion/front_content.php?idart=366 (дата обращения 15.12.2013)

528. 3D body scanner Image Twin TC2 URL:www.tc2.com/index_3dbodyscan.html (дата обращения 15.12.2013)

529. 3D body scanner WB4 Cyberware URL:<http://cyberware.com/products/scanners/wb4.html> (дата обращения 15.12.2013)

530. 3D body scanner bodyscan Breuckmann URL:<http://www.aicon3d.com/start.html> (дата обращения 15.12.2013)

531. 3D body scanner The Intellifit Virtual Fitting Room Unique solution URL:<http://intellifitpss.com/IntellifitSystem.asp> (дата обращения 15.12.2013)

532. 3D body scanner KORUX 2.0 3D OUEST Ltd URL:www.worux.com/UserFiles/File/Doc%20commerciale%20Korux%202011%20UK2.pdf (дата обращения 15.12.2013)

533. 3D body scanner Body ScanFit CadModelling Ergonomics URL:www.cadmodelling.it/cadmodelling_sistema_body_scanfit.html (дата обращения 15.12.2013)

534. 3D body scanner CARTESIA series The Spacevision Ltd URL:www.space-vision.jp/EP-Body_Scanner.html (дата обращения 15.12.2013)

535. 3D body scanner VITUS 3D Bodyscanner VITRONIC URL: www.vitronic.de/nc/en/news/single/artikel/in-12-sekunden-zum-praezisen-3d-abbild-vitronic-praesentiert-in-japan-den-3d-bodyscanner-vitus (дата обращения 15.12.2013)

536. 3D body scanner Kinect Microsoft URL: www.microsoft.com/en-us/kinectforwindows/discover/features.aspx (дата обращения 15.12.2013)

537. 3D body scanner Symcad TelmatIndustrie URL: <http://www.symcad.com/eng/index.htm> (дата обращения 15.12.2013)
538. 3D body scanner Asus Xtion Xtion Pro Live ASUSTeK Computer Inc URL:http://www.asus.com/Multimedia/Xtion_PRO_LIVE/ (дата обращения 15.12.2013)
539. 3D body scanner Artec Eva™ URL: <http://www.artec3d.com/ru/hardware/artec-eva/> (дата обращения 15.12.2013)
540. 3D body scanner Artec L™ URL: <http://www.artec3d.com/ru/hardware/artec-l/> (дата обращения 15.12.2013)
541. 3D Software AutoCAD URL:<http://www.autodesk.ru/products/autodesk-autocad/overview> (дата обращения 15.12.2013)
542. 3D Software 3D Studio Max URL:<http://www.autodesk.ru/products/autodesk-3ds-max/overview> (дата обращения 15.12.2013)
543. 3D Software Maya URL:<http://www.autodesk.ru/products/autodesk-maya/overview> (дата обращения 15.12.2013)
544. 3D Software Аmapi 3DTM URL:www.daz3d.com/seaworthy-peacoat (дата обращения 15.12.2013)
545. 3D Software TrueSpace URL:<http://caligari.us/> (дата обращения 15.12.2013)
546. 3D Software LightWave URL:https://www.lightwave3d.com/new_features/ (дата обращения 15.12.2013)
547. 3D Software AGMS-3D URL:http://www.agms.co.jp/products/04_3d.html (дата обращения 15.12.2013)
548. 3D Software Стаприм URL:<http://www.staprim.com/> (дата обращения 15.12.2013)
549. 3D Software Ассоль URL:<http://www.assol.org/> (дата обращения 15.12.2013)
550. 3D Software Gerber URL:<http://www.gerbertechnology.com/en-us/home.aspx> (дата обращения 15.12.2013)
551. 3D Software OptiTex URL:<http://www.optitex.com/en/3D-Creator-Add-Fabric-Specifications-Sew-Style-in-3D-Drape-Pattern> (дата обращения 15.12.2013)
552. 3D Software Browzwear URL:<http://www.browzwear.com/> (дата обращения 15.12.2013)
553. 3D Software DressingSim URL:http://www.digitalfashion.jp/DFL_en/company/core/index.html (дата обращения 15.12.2013)
554. 3D Software i-Designer <http://i-designer.co.kr/designer1.htm?PHPSESSID=1249adb0ae9b0f3b29fee0f5769ef9ed> (дата обращения 15.12.2013)
555. 3D Software 3D sampling URL: <http://www.lectra.com/en/solutions/product-development/3d-sampling.html> (дата обращения 15.12.2013)
556. 3D Software SYMCAD URL:<http://www.symcad.com/ru/> (дата обращения 15.12.2013)
557. 3D Software Тех-Design URL:http://www.koppermann.com/texdesign/kc_d_design_dress.html (дата обращения 15.12.2013)

558. 3D Software Assyst URL:<http://assystbullmer.co.uk/products/software/> (дата обращения 15.12.2013)
559. 3D Software PAD System URL:<http://www.padsystem.com/> (дата обращения 15.12.2013)
560. 3D Software Creazione URL: http://www.creasolution.it/index.php?action=view_article&id=26&module=articlemodule&src=%40random468fbbafa0145&page_title=Cosa%20fa%20Plasma (дата обращения 15.12.2013)
561. 3D Software Julivi URL:<http://julivi.com/3D-%D0%BC%D0%BE%D0%B4%D1%83%D0%BB%D1%8C.html> (дата обращения 15.12.2013)
562. 3D Software Лeko URL: <http://www.lekala.info/leko/mn15.html> (дата обращения 15.12.2013)
563. 3D Software BustCAD URL: http://www.suitcad.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=9 (дата обращения 15.12.2013)
564. Withdrawn Standard: ASTM D5585-95(2001) Standard Table of Body Measurements for Adult Female Misses Figure Type, Sizes 2-20 (Withdrawn 2010) URL: <http://www.astm.org/DATABASE.CART/WITHDRAWN/D5585.htm> (дата обращения 15.12.2013)

ПРИЛОЖЕНИЯ

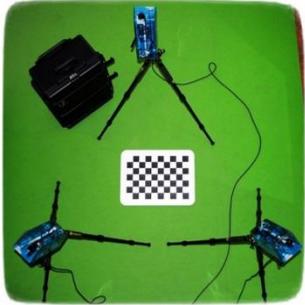
ОБЗОР СИСТЕМ СКАНИРОВАНИЯ И САПР ОДЕЖДЫ

Таблица А1. Перечень трехмерных систем сканирования

№	Страна произво- дитель	Производи- тель // название бодискане- ра	Назначение	Количество размерных признаков	Внешний вид модели в системе Ссылка на электронный ресурс	Скоро- сть	Принци- п действия	Формат экспорта в системы САПР
1.	Германия 3D body scanner Vitus Smart Human Solutions GmbH	Human Solutions GmbH // Vitus Smart	Для швейной промышлен- ности Более 150 размерных признаков	Плотность точек на графике = 27 точек/ см ²		10-15 с	Лазерны й сканер	ASCII, OBJ, STL, DXF

							Продолжение таблицы А1	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
2.	США	Textile/Clo sing Technology Corporatio n// Image Twin	Для швейной промышлен ности Более 150 размерных признаков	35		<30 сек	лампы дневного света	
3.	США	Cyberware/ / WB4	Для швейной промышлен ности Более 150 размерных признаков			16 сек 60000 точек в секун ду	Лазерны й сканер	Эхо, CyScan, PLY, 3D Studio, OBJ, STL, ASCII, DXF, VRML
4.	Германия	Breuckman n //bodyscan	Для машиностро ения Сложно распознать фигуру человека			4.5 сек	лампы дневного света	STL, PLY, BRE, ASCII

Продолжение таблицы А1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
5.	США, Канада	Unique solution // The Intellifit Virtual Fitting Room	Для швейной промышленности Невысокая точность			20 сек	Низкочастотные радиоволны	
6.	Франция	3D OUEST Ltd // KORUX 2.0	Для анимации, позволяет распознать фигуру и отдельные части тела.			4 сек	Лазерный сканер	ASCII, OBJ, STL, DXF
7	Италия	CadModelling Ergonomics // Body ScanFit	Для швейной промышленности Невысокая точность Для антропометрии			4 сек	Лазерный сканер	STL, VRML, TXT, BIN, OBJ, WMH

Продолжение таблицы А1

8.	Япония	The Spacevision Ltd // CARTESI A series	Для швейной промышленности Большое количество размерных признаков			2 сек	Лазерный сканер	FMP, Wavefront OBJ
9.	Германия	VITRONIC // VITUS 3D Bodyscanner	Для швейной промышленности Большое количество размерных признаков			12 сек	Лазерный сканер	

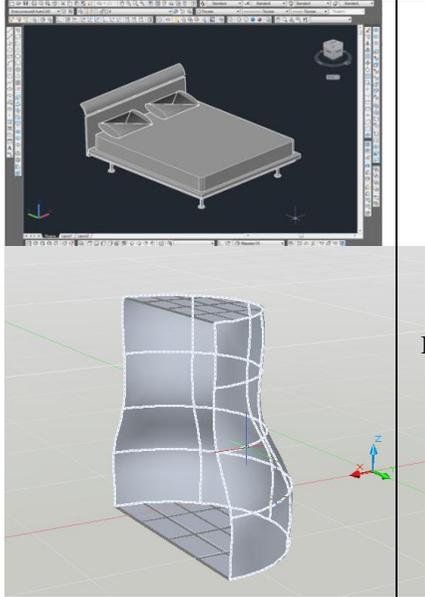
Продолжение таблицы А1

10	США	Microsoft // Kinect	Для вирт. реальности Для анимации, Для игр С доработкой возможно	программа Artec Studio для вас. Она была создана для работы с Microsoft Kinect, Asus Xtion/Xtion Pro Live и другими сенсорами, компанией Primesense.		15-60 сек	Инфракрасный Оптический сканер	STL, VRML, TXT, BIN, OBJ, WMH
11	Франция	TelmatIndustrie // SYMCAD	Для швейной промышленности Большое количество размерных признаков			0.5 сек	лампы дневного света	STL, VRML, TXT, BIN, OBJ, WMH

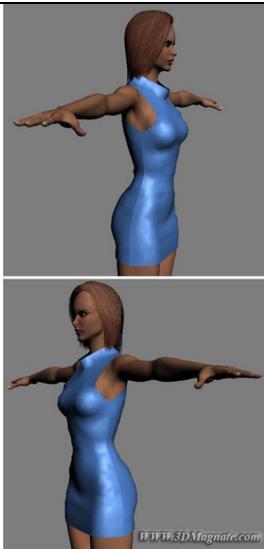
Продолжение таблицы А1

1 2	Китайская Республика: Тайбэй	ASUSTeK Computer Inc // Asus Xtion Xtion PRO LIVE	Для вирт. реальности Для анимации, Для игр С доработкой возможно			15-60 сек	Инфракрасный	STL, VRML, TXT, BIN, OBJ, WMN
1 3	Россия США 15.12.2013)	Artec Eva™ Artec L™	Для технических и статичных объектов, Невозможно точно распознать динамический объект					STL, VRML, TXT, BIN, OBJ, WMN Эта модель наиболее удобна при сканировании крупных объектов, кузовов автомобиля или скульптура.

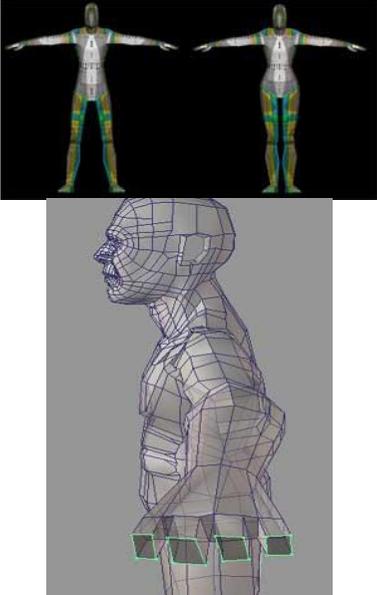
Таблица А2. Перечень систем трехмерного проектирования одежды

№	Страна-разработчик к Ссылка на электронный ресурс	Фирма	Название САПР	Способ представления 3D модели			
				Наличие модуля трехмерного сканирования или измерения фигуры человека	Внешний вид модели в системе	Топологические свойства 3D модели	уровень подобия 3D модели реальной картине
1	2	3	4	5	6	7	8
1	США	AutoDESK	AutoCAD	Отсутствует		Каркасная, поверхностная	Физическое

Продолжение таблицы А2

1	2	3	4	5	6	7	8
2	США	Discreet Inc (AutoDESK)	3D Studio Max	отсутствует		Точечная , Каркасная, поверхностная	Физическое
3	США	Alais Wavefront, AutoDESK (В октябре 2005 года компания Alias влилась в Autodesk)	Maya	отсутствует		Точечная , Каркасная, поверхностная	Физическое

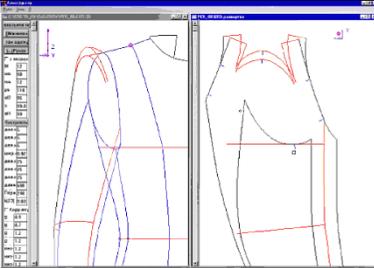
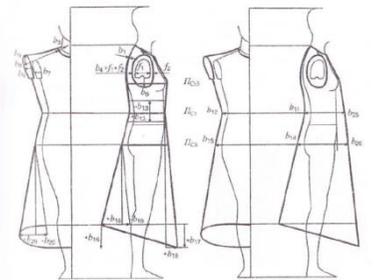
Продолжение таблицы А2

1	2	3	4	5	6	7	8
4	США	DAZ 3D	Amapi 3DTM	отсутствует		Поверхностная, каркасная	Физическое
5	США	Caligari Corporation	TrueSpace	Отсутствует		Твердотельная, поверхностная, каркасная	Физиологическое

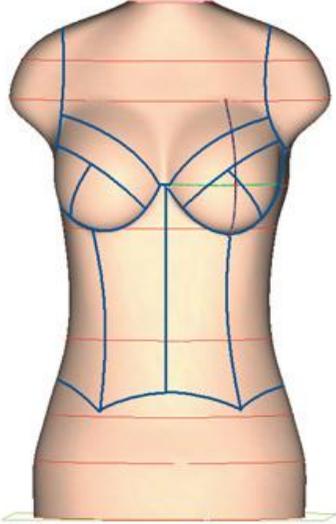
Продолжение таблицы А2

1	2	3	4	5	6	7	8
6	США	NewTek	LightWave	отсутствует		Поверхностная, каркасная	Физическое
7	Япония	AshasiKasel AGSM Corporation	AGMS-3D	Трехмерная система лазерного сканирования		Каркасная	Физиологическое

Продолжение таблицы А2

1	2	3	4	5	6	7	8
8	Россия	СПГУДТ	Стаприм	Измерение по фотографии	 <p data-bbox="1173 628 1547 715">http://rudocs.exdat.com/docs/index-252024.html</p>  <p data-bbox="1227 1018 1547 1315">трехмерную модель представляют в виде упругой расправленной оболочки поверхности внешней формы</p>	Каркасная	Психологические

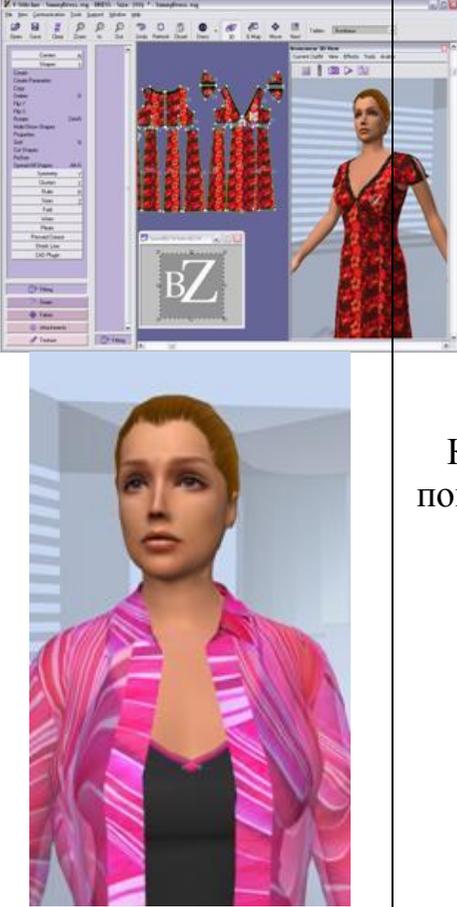
Продолжение таблицы А2

1	2	3	4	5	6	7	
9	Россия	МФТИ	Ассоль	Трехмерное сканирование		Точечная, каркасная	Физиологическое
10	США	Gerber Technologies	Gerber	Отсутствует		Каркасная, поверхностная	Физиологическое

Продолжение таблицы А2

1	2	3	4	5	6	7	8
11	Израиль	OptiTex International	OptiTex	Измерение по фотографии		Каркасные, поверхностные	Физиологическое

Продолжение таблицы А2

1	2	3	4	5	6	7	8
12	Израиль	Browzwear International Ltd	Browzwear	Лазерное сканирование		Каркасная, поверхностная	Физиологическое

Продолжение таблицы А2

1	2	3	4	5	6	7	8
13	Япония	Digital Fashion Ltd	DressingSim	<p>Для моделирования тела в компьютере человек становится в нижнем белье в специальную кабину на 30 секунд в профиль и анфас. Полученная информация затем переносится в подсистему, формирующую трехмерную модель тела человека. Система отображает на представление тела, включая особенности его осанки.</p>		Каркасная, поверхностная	Физиологическое

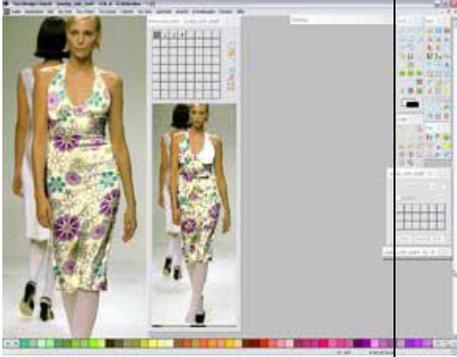
Продолжение таблицы А2

1	2	3	4	5	6	7	8
14	Япония	TechnoInc	i-Designer	Измерение по фотографии		Каркасная, поверхностная	Физиологическое
15	Франция	Lectra- Investronica- System	Lectra- Investronica	Лазерное сканирование		Каркасная, поверхностная	Физиологическое

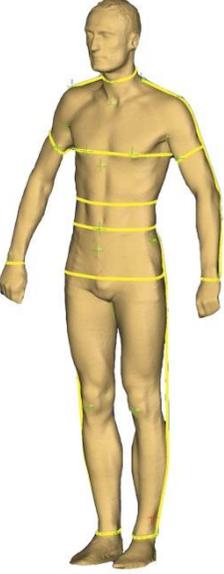
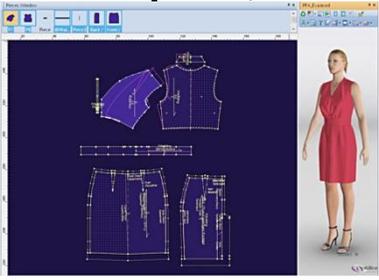
Продолжение таблицы А2

1	2	3	4	5	6	7	8
16	Франция	TelmatIndustrie	SYMCAD	 <p>АВТОМАТИЧЕСКОЕ 3-Х МЕРНОЕ ИЗМЕРЕНИЕ ТЕЛА И ПОДБОР РАЗМЕРА ОДЕЖДЫ Цифровой проектор, основанный на лучах белого света (100% безопасность);</p>	 	Поверхностная	Физическое

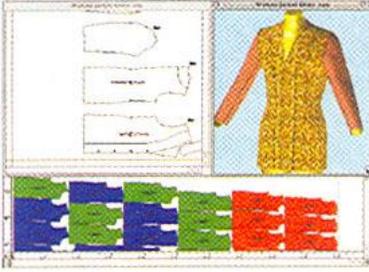
Продолжение таблицы А2

1	2	3	4	5	6	7	8
17	Германия	Korpermann Computer System	Tex-Design	Измерение по цифровой фотографии	 	Точечная	Психологическое

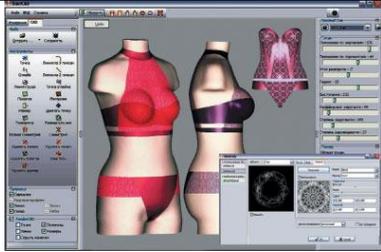
Продолжение таблицы А2

1	2	3	4	5	6	7	8
18	Германия	AssystBullmer	Assyst	<p>Лазерное трехмерное сканирование</p> 	 <p>Virtual Mirror (виртуальное зеркало)</p> 	Поверхностная	Физическое

Продолжение таблицы А2

1	2	3	4	5	6	7	8
19	Канада	PAD System Technologies	PAD System	отсутствует		Каркасная	Физиологическое
20	Италия	Crea Solution Srl	Creazione	Лазерное сканирование		Поверхностная, каркасная	Физическое

Продолжение таблицы А2

1	2	3	4	5	6	7	8
21	Украина	САПРЛЕГ-ПРОМ	Julivi	Отсутствует		Каркасная	Физиологическое
22	Россия	Вилар	Леко	Измерение по цифровой фотографии		Каркасное	Физиологическое
23	Россия	Центр наукоемких и информационных технологий	BustCAD	отсутствует		Каркасное	физиологическое

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Технические характеристики камер, использующихся для проведения испытаний

Таблица Б1

Марка камеры	Canon EOS 550D Kit	Nikon 8700 Coolpix	Canon EOS 500D Body	Canon EOS 50D	Nikon D3000	Nikon D5000 Kit
Внешний вид						
Регистрирующий элемент	CMOS 22,3 x 14,9 мм Число эффективных пикселей Прибл. 18,0 мегапикселя	ПЗС-матрица диагональю 2/3"; общее количество пикс.: 8,31 млн., рабочих: 8,0 млн	CMOS 22,3 x 14,9 мм число эффективных пикселей прибл. 15 млн	CMOS 22,3 x 14,9 мм число эффективных пикселей прибл. 15,10 мегапикселя	Эффективное число пикселей 10,2 млн.	КМОП-матрица размером 23,6x15,8мм 12,3 млн.
Фокусное расстояние	Эквивалент 1,6-кратного увеличения фокусного расстояния объектива	8,9-71,2 мм.	эквивалентно 1,6 фокусного расстояния объектива	Эквивалентно 1,6-кратному фокусному расстоянию объектива		17,9 мм (-1,0 м-1)
Максимальное разрешение фото	JPEG: (L) 5184x3456, (M) 3456x2304, (S) 2592x1728	пик. 3264 x 2448	JPEG: (L) 4272x2848, (M) 3088x2056, (S) 2256x1504	JPEG: (L) 4752x3168, (M) 3456x2304, (S) 2353x1568,	3872 x 2592 («Большой»), 2896 x 1944 («Средний»),	4288x2848, 3216x2136, 2144x1424

Марка камеры	Canon EOS 550D Kit	Nikon 8700 Coolpix	Canon EOS 500D Body	Canon EOS 50D	Nikon D3000	Nikon D5000 Kit
Форматы записи фото	JPEG: точный, стандартный (совместимый с Exif 2,21 [Exif Print]) / стандарт файловой системы для камер (2.0), RAW: RAW (14-битный, оригинальный Canon RAW, версия 2), совместимый с форматом Digital Print Order Format [DPOF] версии 1.1	NEF (формат RAW без сжатия), Tiff-RGB, JPEG. Поддержка стандартов EXIF 2.2.	JPEG: высокое и нормальное разрешение (совместимый с Exif 2,21 [Exif Print]) / стандарт файловой системы для камер Design Rule for Camera File System (2.0), RAW: RAW (14 бит, Canon RAW, версия 2), совместимый с форматом Digital Print Order Format [DPOF] версии 1.1	JPEG: высокое, нормальное (совместимый с Exif 2,21 [Exif Print]) / стандарт файловой системы для камер (2.0) RAW: RAW, sRAW1, sRAW2 (14 бит, Canon RAW, версия 2), совместимый с форматом Digital Print Order Format [DPOF] версии 1.1	<ul style="list-style-type: none"> • NEF (RAW) • JPEG: совместимый с базовым форматом JPEG с высоким (прибл. 1:4), обычным (прибл. 1:8) или низким уровнем сжатия (прибл. 1:16) • NEF (RAW) + JPEG: один снимок, записанный в обоих форматах: NEF (RAW) и JPEG 	NEF (RAW) JPEG. Совместимый с базовым форматом JPEG с высоким (прибл. 1:4), средним (прибл. 1:8) или низким качеством (прибл. 1:16) NEF (RAW) + JPEG. Один снимок, записанный в обоих форматах: NEF (RAW) и JPEG
Видоискатель	от -3 до +1 м-1 (диоптрий) Окулярная точка Прибл. 19 мм (от центра линзы окуляра)	0,44" со встроенной диоптрийной коррекцией от -4 до +1дптр.	от -3 до +1 м-1 (диоптрий) Вынесенная окулярная точка: прибл. 19 мм (от центра линзы окуляра)	от -3 до +1 м-1 (диоптрий) Прибл. 22 мм (от центра линзы окуляра)	Диоптрийная настройка От -1,7 до +0,5 м-1	От -1,7 до +0,7 м-1 17,9 мм (-1,0 м-1)
Фокусировка	TTL-CT-SIR	TTL-автофокус,	TTL-CT-SIR	TTL-CT-SIR		Модуль датчика

Марка камеры	Canon EOS 550D Kit	Nikon 8700 Coolpix	Canon EOS 500D Body	Canon EOS 50D	Nikon D3000	Nikon D5000 Kit
	(регистрация вторичного изображения через объектив с центральным визирным перекрестием), специально для автофокусировки и с помощью CMOS-матрицы	по контрасту изображения. Фокусировка происходит по одной из пяти зон, выбранной автоматически или вручную.	(регистрация вторичного изображения через объектив с центральным визирным перекрестием) при помощи CMOS-датчика	(регистрация вторичного изображения через объектив с центральным визирным перекрестием) при помощи CMOS-датчика		автофокусировки Nikon Multi-CAM 1000 с определением фазы TTL, 11-ю точками фокусировки (включая 1 крестообразный датчик) и вспомогательной подсветкой АФ (дальность приibl. 0,5 — 3 м / 1 фут 8 дюймов – 9 футов 10 дюймов)
Диапазоны фокусировки	EV -0,5–18 (при 23°C и ISO100)	В стандартном режиме от 50см до бесконечност. В режиме макро от 3 см до бесконечности.	EV -0,5-18 (при 23°C и чувствительност и ISO100)	+/- 20 шагов Корректировка всех объективов на одинаковую величину	от -1 до +19 EV (ISO 100, 20°C (68°F))	От -1 до +19 EV (эквивалент ISO 100 при 20°C/68°F)
Ручная фокусировка	Осуществляется при помощи объектива	(64 шага) от 3см до бесконечности.	осуществляется при помощи объектива; по умолчанию в режиме просмотра в реальном времени	Осуществляется при помощи объектива; по умолчанию в режиме просмотра в реальном времени	Ручная фокусировка (MF): возможно использование электронного дальномера	поддержка электронного дальномера

Марка камеры	Canon EOS 550D Kit	Nikon 8700 Coolpix	Canon EOS 500D Body	Canon EOS 50D	Nikon D3000	Nikon D5000 Kit
Экспокоррекция	3 кадра +/- 2 EV, с шагом 1/2 или 1/3 ступени +/-5 EV с шагом 1/3 или 1/2 ступени	± 2 EV, с шагом 1/3 ступени.	+/- 2 EV, с шагом 1/2 или 1/3 ступени	+/-2 EV с шагом 1/3 или 1/2 ступени (доступна только при брекетинге автоэкспозиции.	От -5 до +5 EV с шагом 1/3 EV	±5 EV с шагом 1/3 или 1/2 EV
Вспышка встроенная	Вспышки Canon Speedlite)				Встроенная вспышка Примерно 12/39, 13/43 при ручном режиме вспышки	- TTL: сбалансированная заполняющая вспышка i-TTL и по центру)
Диапазон работы		в положении "широкий угол" 0,5-4,1 м. в положении "теле" 0,5-2,7 м.	соответствует объективу с фокусным расстоянием 17 мм (эквивалент 35 мм: 27 мм)	Соответствует объективу с фокусным расстоянием 17 мм (эквивалент 35 мм: 27 мм)		
Серийная съемка	Макс.: прибл. 3,7 кадра в секунду	, скорость серийной съемки может изменяться от 1,2 кадр/сек. до 30 кадр/сек.	Макс.: прибл. 3,4 кадра/с (до 170 кадров в формате JPEG 1, 9 кадров в формате RAW) 2	Макс.: прибл. 6,3 кадра в секунду (до 90 кадров в формате JPEG ¹ ₂	До 3 кадров в секунду (ручная фокусировка, режим «M» или «S», выдержка не более 1/250 с	Непрерывная высокоскоростная: до 4 кадров в секунду (ручной режим фокусировки, ручной или
Увеличение	1,5–10-кратное,	8x, 4x	1,5x – 10x	1,5x – 10x	Прибл. 0,8-кратное	

ПРОТОКОЛЫ ИСПЫТАНИЙ**Протокол проведения испытаний №3 от 08.07.2011****1. Наименование считывающего устройства, характеристики**

камера Canon EOS 550D

2. Наименование испытуемых матриц

ВИИ 1 – ВИИ 10 – Цвет - черный, белый. Последовательность - в шахматном порядке. Форма – квадрат. Размер стороны: 1x1 мм; 2x2 мм; 3x3 мм; 4x4 мм; 5x5 мм; 6x6 мм; 7x7 мм; 8x8 мм; 9x9 мм; 10x10 мм.

ВИИ 11- ВИИ 20 - Цвет - красный синий. Последовательность - в шахматном порядке. Форма – квадрат. Размер стороны: 1x1 мм; 2x2 мм; 3x3 мм; 4x4 мм; 5x5 мм; 6x6 мм; 7x7 мм; 8x8 мм; 9x9 мм; 10x10 мм.

ВИИ 21- ВИИ 30 - Цвет - синий, зеленый. Последовательность - в шахматном порядке. Форма – квадрат. Размер стороны: 1x1 мм; 2x2 мм; 3x3 мм; 4x4 мм; 5x5 мм; 6x6 мм; 7x7 мм; 8x8 мм; 9x9 мм; 10x10 мм.

ВИИ 31 – ВИИ 40 – Цвет красный –зеленый. Последовательность - в шахматном порядке. Форма – квадрат. Размер стороны: 1x1 мм; 2x2 мм; 3x3 мм; 4x4 мм; 5x5 мм; 6x6 мм; 7x7 мм; 8x8 мм; 9x9 мм; 10x10 мм.

3. Программа испытаний

Площадь распознанной поверхности матрицы (в процентах),

Количество артефактов (объектов, которых нет на матрице, но появились на изображении)

4. Условия освещенности при испытаниях

Дневной свет, дневной свет и штатное освещение аудитории, дневной свет и штатное освещение установки.

5. Способ оценки

Количественный, с помощью опытного программного обеспечения.

Данные внесены в таблицы В.1-В4

Для наглядности способа оценки некоторые оценочные листы приведены на Рисунке В.1

Таблица В. 1

№	Наименование показателя	Кол-во снимков	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	<i>площадь нераспознанной поверхности</i>	10	0,23	0,39	0,44	0,45	0,3	0,5	0,5	0,41	0,43	0,34
2	<i>количество артефактов</i>	10	234	387	438	444	319	498	513	409	434	338

Таблица В. 2

№	Наименование показателя	Кол-во снимков	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	<i>площадь нераспознанной поверхности</i>	10	0,01	0,01	0,078	0,02	0	0,009	0	0	0	0
2	<i>количество артефактов</i>	10	10	9	8	15	0	6	0	0	0	0

Таблица В. 3

№	Наименование показателя	Кол-во снимков	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	<i>площадь нераспознанной поверхности</i>	10	0,2	0,25	0,14	0,25	0,3	0,5	0,1	0,23	0,19	0,23
2	<i>количество артефактов</i>	10	198	254	138	244	290	498	95	234	187	229

Таблица В. 4

№	Наименование показателя	Кол-во снимков	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	<i>площадь нераспознанной поверхности</i>	10	0,11	0,21	0,17	0,22	0,17	0,19	0,11	0,12	0,09	0,07
2	<i>количество артефактов</i>	10	130	209	167	196	173	187	105	124	93	68

Результат оценки сочетания материальной матрицы и считывающих устройств различного типа показал, что оптимально использовать матрицу с геометрическими элементами синего и красного цвета, размером от 5 до 10 мм.

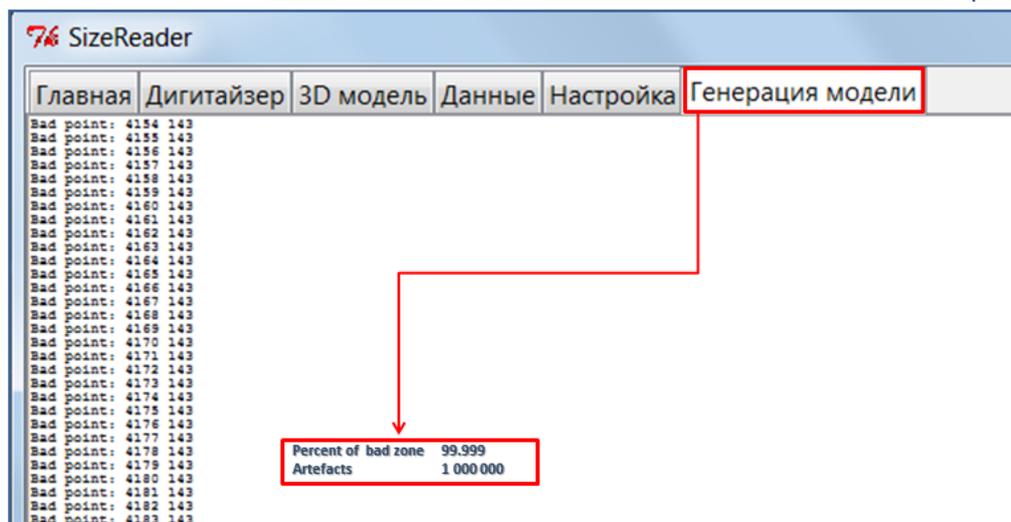
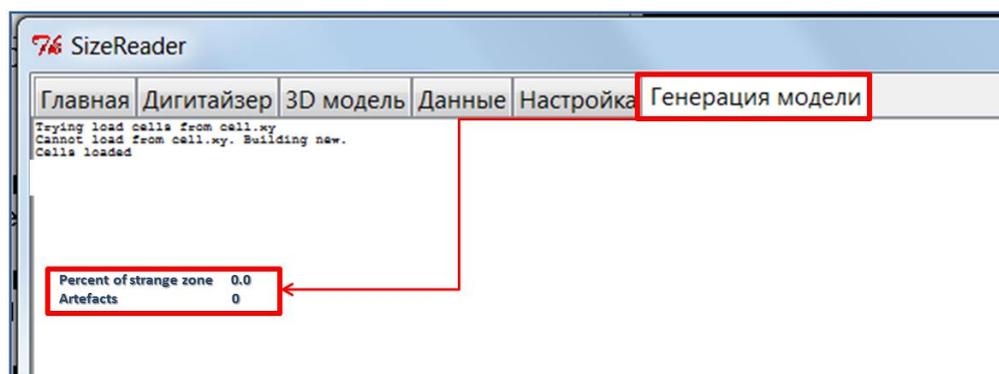
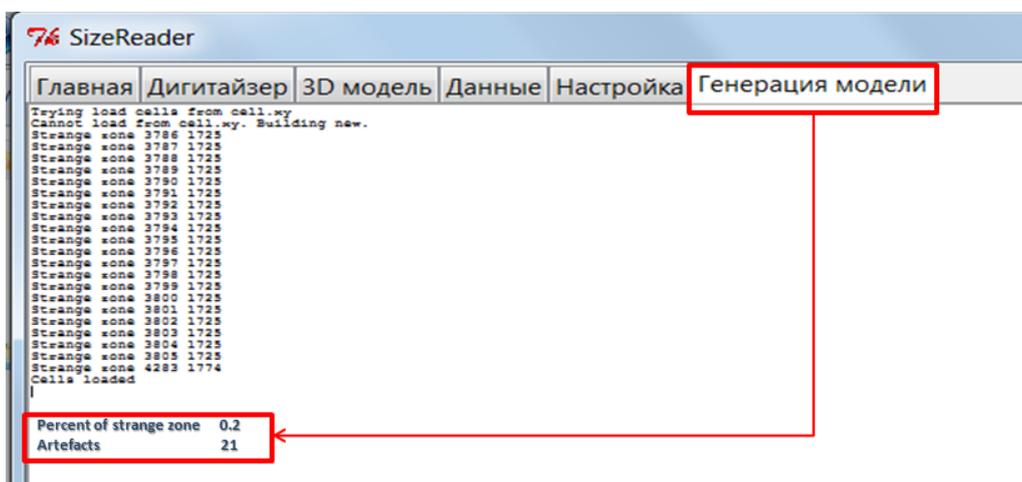


Рисунок В. 1 Некоторые оценочные листы

Протокол испытаний распространяется только на испытуемые матрицы и не может быть использован для сертификации измерительных инструментов. Протокол испытаний не может быть полностью или частично перепечатан без разрешения руководителя кафедры ХМКТШИ МГУДТ.

Протокол проведения испытаний №4 от 17.07.2011

1. Наименование считывающего устройства, характеристики
камера Canon EOS 550 D

2. Наименование испытуемых объектов:

Фон 1 – белый цвет

Фон 2 – синий цвет

Фон 3 – красный цвет

Фон 4 – зеленый цвет

Фон 5 – голубой цвет

3. Программа испытаний

Распознаваемость фигуры человека в автоматическом режиме.

4. Условия освещенности при испытаниях

Естественное и искусственное освещение. Применение светодиодных светильников бесконтактного комплекса.

Таблица В. 5 Результаты испытаний

№	Наименование показателя	Кол-во снимков	Фон 1	Фон 2	Фон 3	Фон 4	Фон 5
1	Распознаваемость фигуры	36	Низкая	высокая	Низкая	Волосы сливаются с фоном	высокая
2	Четкость внешнего контура фигуры	36	высокая	высокая	средняя	средняя	средняя
3	Определяемость границ между фоном и фигурой	36	средняя	высокая	высокая	средняя	средняя
4	Отсутствие на объекте пятен светлее фона	36	присутствуют	отсутствуют	присутствуют	отсутствуют	присутствуют

Таблица В.6 Группы из шести неповторяющихся чисел и соответствующие им координаты для формирования штрих-кодовой матрицы						
	N п/п	Последовательность цифр			Ширина последовательности,	
		штрихового кода			начиная с первой цифры	
	1	2			3	
	1	123452			21	
	2	234523			24,5	
	3	345234			28	
	4	452345			31,5	
	5	523451			35	
	6	234513			38,5	
	7	345134			42	
	8	451345			45,5	
	9	513451			49	
	10	134512			52,5	
	11	345124			56	
	12	451245			59,5	
	13	512451			63	
	14	124512			66,5	
	15	245123			70	
	16	451235			73,5	
	17	512351			77	
	18	123512			80,5	
	19	235123			84	
	20	351234			87,5	
	21	512341			91	
	22	123412			94,5	
	23	234123			98	
	24	341234			101,5	
	25	412342			105	
	26	123423			108,5	
	27	234234			112	
	28	342345			115,5	
	29	423453			119	
	30	234534			122,5	
	31	345345			126	
	32	453451			129,5	
	33	534514			133	
	34	345145			136,5	
	35	451451			140	
	36	514512			143,5	
	37	145125			147	
	38	451251			150,5	
	39	512512			154	
	40	125123			157,5	
	41	251231			161	
	42	512312			164,5	
	43	123123			168	
	44	231235			171,5	
	45	312352			175	
	46	123523			178,5	
	47	235234			182	
	48	352341			185,5	

Продолжение таблицы В 6						
N п/п	Последовательность цифр			Ширина		
	штрихового кода			последовательности, начиная с первой цифры		
1	2			3		
49	523413			189		
50	234134			192,5		
51	341345			196		
52	413452			199,5		
53	134524			203		
54	345245			206,5		
55	452451			210		
56	524513			213,5		
57	245135			217		
58	451351			220,5		
59	513512			224		
60	135124			227,5		
61	351241			231		
62	512412			234,5		
63	124124			238		
64	241245			241,5		
65	412452			245		
66	124523			248,5		
67	245235			252		
68	452351			255,5		
69	523513			259		
70	235134			262,5		
71	351341			266		
72	513412			269,5		
73	134124			273		
74	341245			276,5		
75	412452			280		
76	124523			283,5		
77	245235			287		
78	452351			290,5		
79	523513			294		
80	235134			297,5		
81	351341			301		
82	513413			304,5		
83	134134			308		
84	341345			311,5		
85	413452			315		
86	134524			318,5		
87	345245			322		
88	452451			325,5		
89	524513			329		
90	245135			332,5		
91	451351			336		
92	513512			339,5		
93	135124			343		
94	351241			346,5		
95	512412			350		
96	124123			353,5		
97	241235			357		
98	412352			360,5		

Продолжение таблицы В 6						
N п/п	Последовательность цифр			Ширина		
	штрихового кода			последовательности, начиная с первой цифры		
1	2			3		
99			123523			364
100			235234			367,5
101			352342			371
102			523423			374,5
103			234234			378
104			342345			381,5
105			423453			385
106			234534			388,5
107			345345			392
108			453451			395,5
109			534514			399
110			345145			402,5
111			451451			406
112			514512			409,5
113			145125			413
114			451252			416,5
115			512522			420
116			125223			423,5
117			252231			427
118			522312			430,5
119			223123			434
120			231234			437,5
121			312341			441
122			123411			444,5
123			234113			448
124			341134			451,5
125			411342			455
126			113423			458,5
127			134234			462
128			342345			465,5
129			423453			469
130			234534			472,5
131			345345			476
132			453451			479,5
133			534514			483
134			345145			486,5
135			451451			490
136			514512			493,5
137			145125			497
138			451251			500,5
139			512511			504
140			125113			507,5
141			251131			511
142			511312			514,5
143			113123			518
144			131232			521,5
145			312323			525
146			123234			528,5
147			232343			532
148			323434			535,5

Продолжение таблицы В 6						
N п/п	Последовательность цифр			Ширина последовательности, начинаая с первой цифры		
	штрихового кода					
1	2			3		
149			234345			539
150			343454			542,5
151			434545			546
152			345451			549,5
153			454515			553
154			545151			556,5
155			451512			560
156			515121			563,5
157			151212			567
158			512125			570,5
159			121252			574
160			212523			577,5
161			125231			581
162			252313			584,5
163			523134			588
164			231342			591,5
165			313424			595
166			134245			598,5
167			342453			602
168			424535			605,5
169			245351			609
170			453514			612,5
171			535141			616
172			351414			619,5
173			514145			623
174			141452			626,5
175			414525			630
176			145251			633,5
177			452513			637
178			525131			640,5
179			251312			644
180			513124			647,5
181			131242			651
182			312423			654,5
183			124235			658
184			242353			661,5
185			423534			665
186			235343			668,5
187			353434			672
188			534345			675,5
189			343454			679
190			434545			682,5
191			345451			686
192			454515			689,5
193			545151			693
194			451512			696,5
195			515121			700
196			151212			703,5
197			512122			707
198			121222			710,5

Продолжение таблицы В 6						
N п/п	Последовательность цифр штрихового кода			Ширина последовательности, начиная с первой цифры		
	1	2	3	3		
199	212223			714		
200	122234			717,5		
201	222342			721		
202	223423			724,5		
203	234234			728		
204	342343			731,5		
205	423434			735		
206	234345			738,5		
207	343454			742		
208	434545			745,5		
209	345451			749		
210	454515			752,5		
211	545151			756		
212	451512			759,5		
213	515121			763		
214	151212			766,5		
215	512123			770		
216	121231			773,5		
217	212311			777		
218	123111			780,5		
219	231112			784		
220	311123			787,5		
221	111234			791		
222	112343			794,5		
223	123434			798		
224	234345			801,5		
225	343454			805		
226	434545			808,5		
227	345451			812		
228	454515			815,5		
229	545151			819		
230	451512			822,5		

**ПЕРЕЧЕНЬ КОМПЛЕКТУЮЩИХ,
ЧЕРТЕЖИ ВНЕШНЕГО ВИДА,
СХЕМА ПОДКЛЮЧЕНИЯ К ЭЛЕКТРОСЕТИ
СПЕЦИФИКАЦИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ОПЫТНЫХ ОБРАЗЦОВ
СИСТЕМ ТРЕХМЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ**

Таблица Г. 1 Спецификация оборудования опытных систем сканирования

Название и внешний вид	Компоненты	Спецификация
<p data-bbox="147 475 533 560">Дигитайзер мобильный , стационарный</p> 	<p data-bbox="640 528 1279 619">Canon EOS 550D kit EF-S 18-55mm f/3.5-5.6 IS фотокамера</p> <p data-bbox="640 639 1106 671">Комплект активных USB-кабелей</p> <p data-bbox="640 695 1279 786">Программа для дистанционного управления фотоаппаратом DSLR Remote Pro for Windows</p> <p data-bbox="640 807 1240 839">Устройство для установки камеры (штатив)</p> <p data-bbox="640 863 1339 895">Уникальная матрица из геометрических элементов</p> <p data-bbox="640 919 1301 951">Радиосинхронизатор Yongnuo RF-602 и ресивер</p> <p data-bbox="640 975 1039 1007">Canon 1000D/450D/400D/350</p> <p data-bbox="640 1031 763 1062">Ноутбук</p> <p data-bbox="640 1086 1010 1118">Кейс для транспортировки</p> <p data-bbox="640 1142 1335 1233">Опытное ПО для получения длин срезов, площади легал и перевода растровой графики в векторную</p>	<p data-bbox="1404 528 1957 619">Подходит для использования в качестве переносного комплекса</p> <p data-bbox="1404 639 2096 730">Скорость получения и обработки информации 1- 3 сек.</p> <p data-bbox="1404 754 1991 845">Характерная точность 1/2000 от величины объекта</p> <p data-bbox="1404 869 1951 901">Размер измеряемых объектов от 0,01 м</p>

Продолжение таблицы Г.1

Название и внешний вид	Компоненты	Кол-во	спецификация
<p data-bbox="147 675 546 759">Стационарная система трехмерного сканирования</p> 	Canon EOS 550D kit EF-S 18-55mm f/3.5-5.6 IS фотокамера	12	<p data-bbox="1615 456 2101 536">Подходит для использования в качестве стационарного комплекса</p> <p data-bbox="1615 564 2101 644">Скорость получения информации 1-3 сек.</p> <p data-bbox="1615 673 2101 753">Характерная точность 1/2000 от величины объекта</p> <p data-bbox="1615 782 2101 861">Размер измеряемых объектов от 0,01 м</p> <p data-bbox="1615 890 2101 970">Рекомендуемый размер объектов 0,1-2 м</p> <p data-bbox="1615 999 2101 1078">Дистанция от камеры до объекта - переменная</p>
	Комплект активных USB-кабелей	12	
	Устройство для установки камеры: Держатель Manfrotto 035 super clamp 035 Держатель Manfrotto 045 045	12	
	Программа для дистанционного управления фотоаппаратом DSLR Remote Pro for Windows	12	
	Уникальная матрица из геометрических элементов	1	
	Радиосинхронизатор Yongnuo RF-602 и	12	
	Ресивер Canon 1000D/450D/400D/350	3	
	Стационарный компьютер и монитор	1	
	Платформа для установки объекта измерений	1	
Опытное ПО для построения трехмерной модели и измерения размерных признаков	1		

○ **Требования к энергоснабжению, энергопотреблению и коммуникациям**

В соответствии с требованиями производителей компьютерного оборудования электроснабжение системы трехмерного сканирования должно быть реализовано по однофазной сети переменного тока напряжением 220 В (+10%, -15%) частотой 50 Гц (± 2 Гц) из расчета энергопотребления на один комплекс не превышающего 800 Вт.

Прокладка кабельных линий должна соответствовать требованиям Правил устройства электроустановок (утвержденные приказом Министра энергетики Российской Федерации от 08 июля 2003 года № 204, издание 7).

Систему трехмерного сканирования не следует размещать вблизи силовых кабелей и вводов, высоковольтных трансформаторов, создающих помехи в работе синхронизирующего оборудования комплекса.

Подключение технических средств комплекса производить согласно схеме, приведенной на рисунке Г.1.

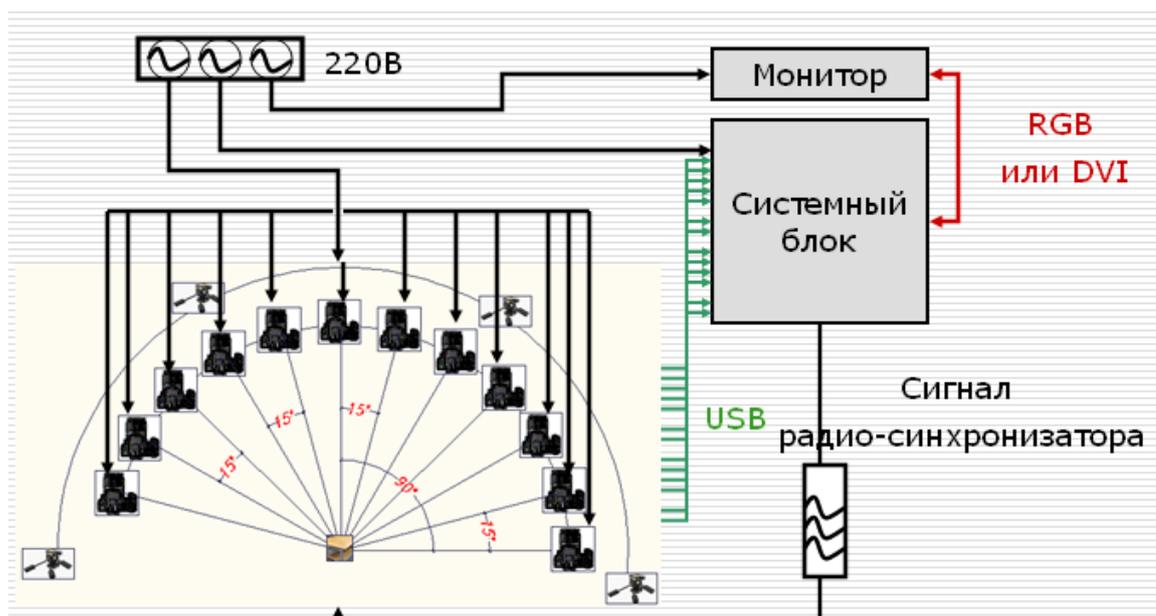


Рисунок Г. 1 - Схема подключения стационарной системы трехмерного сканирования

Заземление электроснабжения должно быть реализовано по типу TN-S в соответствии с Правилами устройства электроустановок (утвержденные приказом Министра энергетики Российской Федерации

от 08 июля 2003 года № 204, издание 7) и подключено к общей системе заземления объекта размещения (здания).

Для защиты управляющих компонентов системы трехмерного сканирования(системного блока и устройства отображения информации) от дестабилизирующих воздействий со стороны сети электропитания рекомендуется использовать источник бесперебойного питания. ИБП предназначен для корректного завершения работы комплекса в аварийных ситуациях. Периферийные устройства (принтер и сканер) могут подключаются непосредственно к сети электропитания, минуя ИБП.

При использовании системы трехмерного сканирования удаленно в центре приема клиентов; для обеспечения информационного взаимодействия необходимо подключение к внешней телекоммуникационной сети со скоростью передачи информации не менее 10 Мбит/сек.

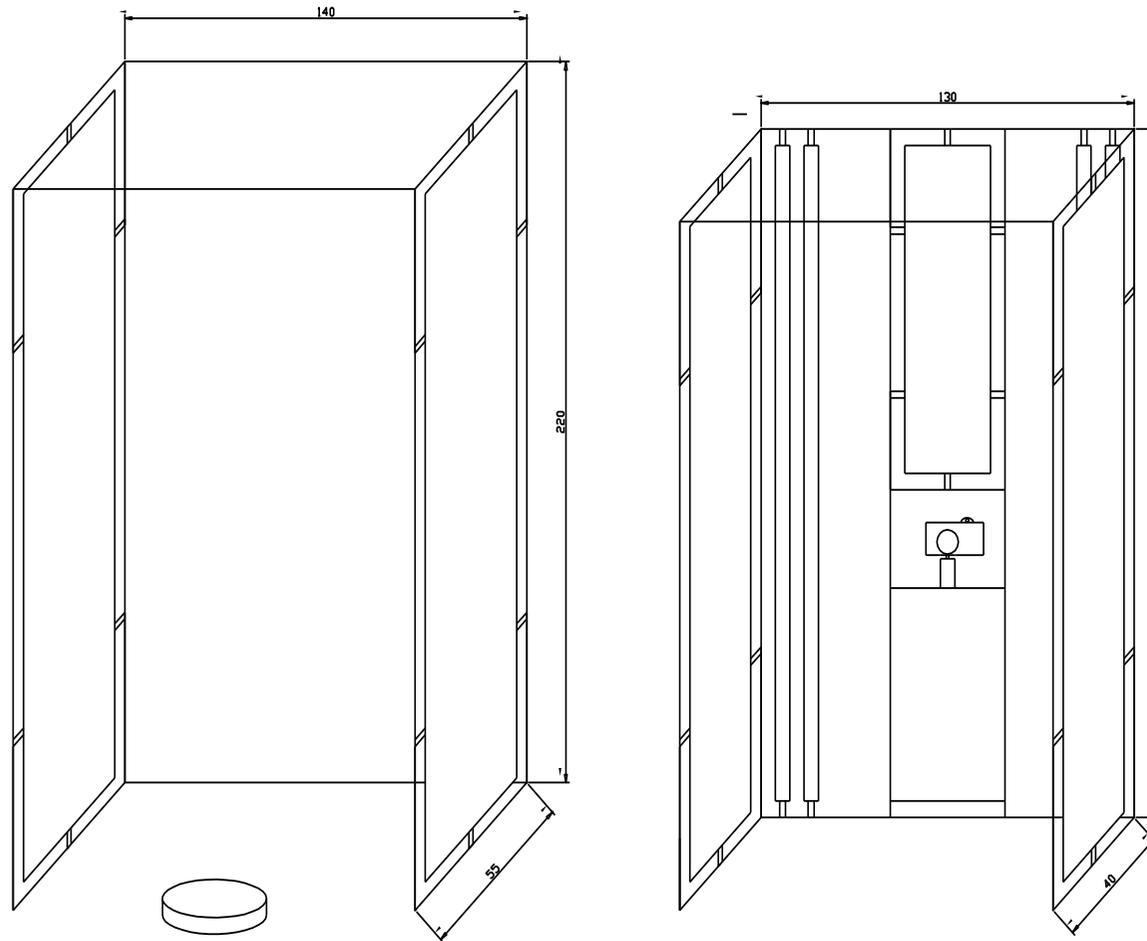


Рисунок Г.1 - Чертеж внешнего вида фронтальной и задней половинок измерительной кабинки для мобильной системы трехмерного сканирования

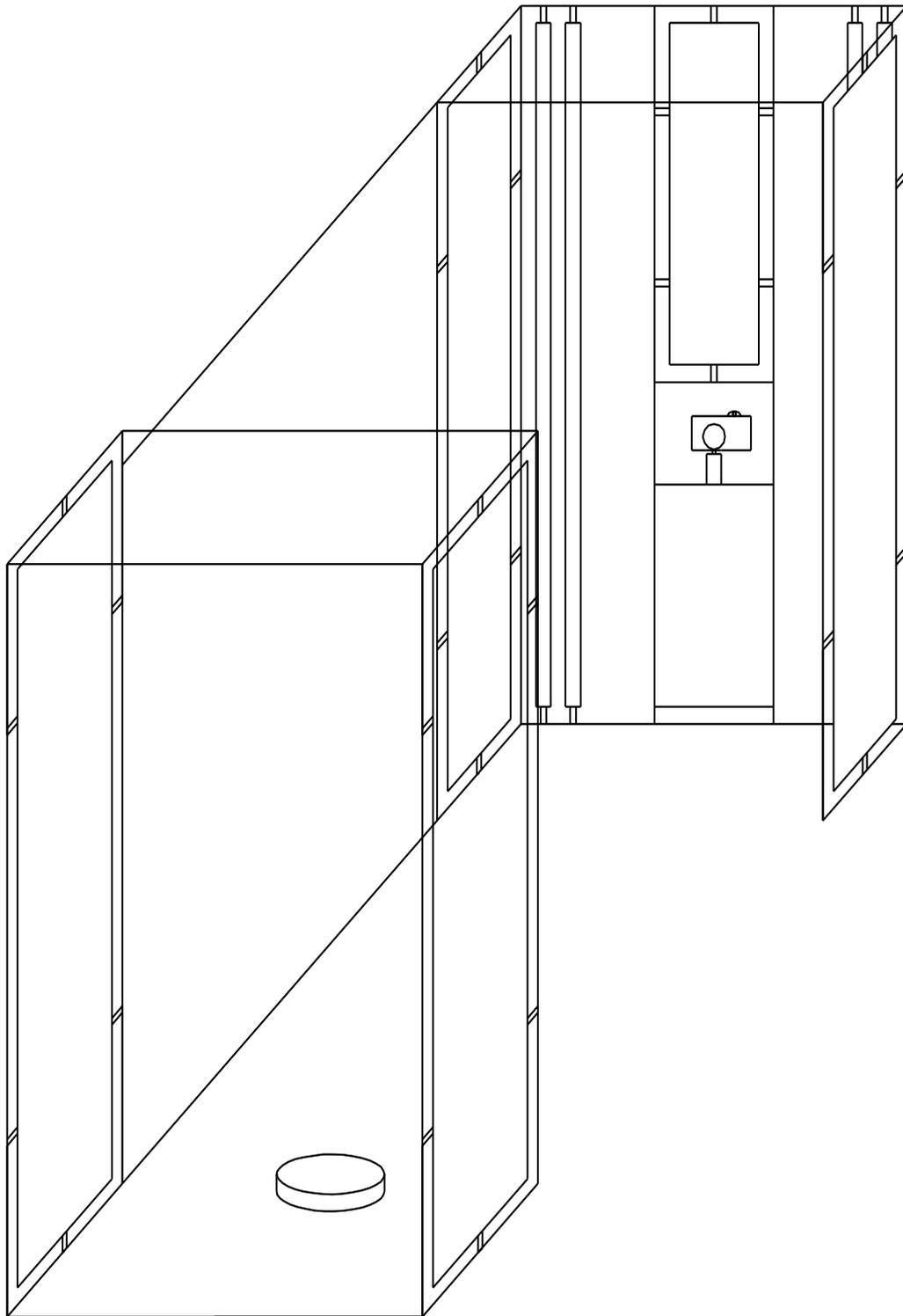
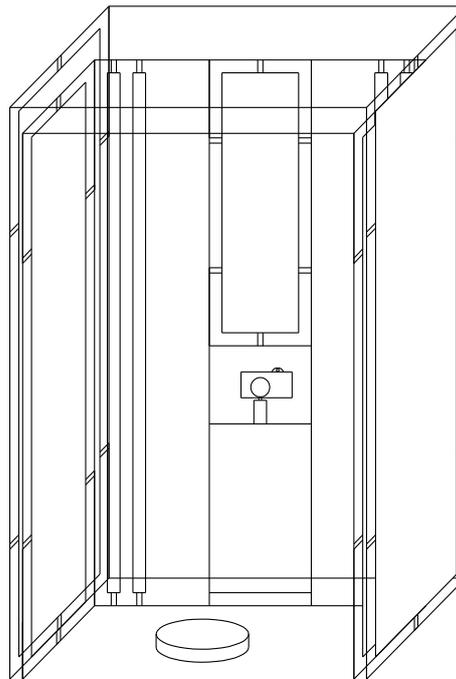


Рисунок Г. 2 Чертеж внешнего вида измерительной кабинки в собранном для измерений состоянии



**Рисунок Г.3- Фотоизображение внешнего вида измерительной кабинки,
а- в собранном для измерений состоянии, б- собранном для хранения
состоянии**



**Рисунок Г.4– Чертеж внешнего вида измерительной кабинки в
состоянии собранном для хранения**

Таблица Г.2 -Чертежи внешнего вида комплектующих для сбора фронтальной и задней частей измерительной кабинки

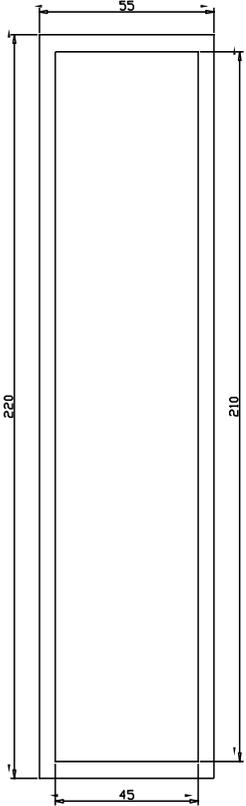
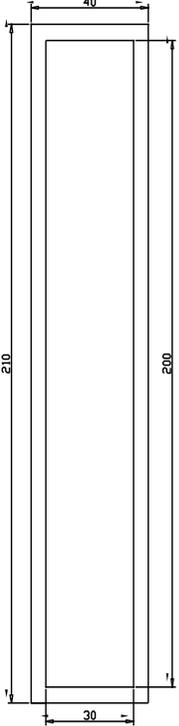
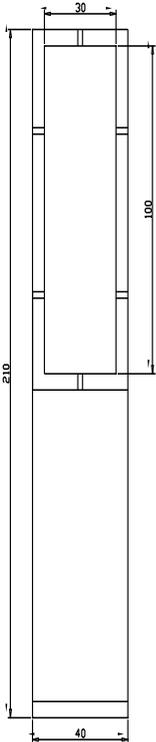
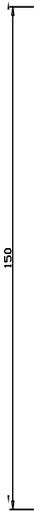
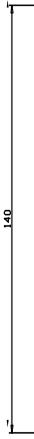
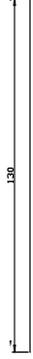
Боковая стенка задней половинки	Боковая стенка фронтальной половинки	Центральная часть фронтальной половинки	Перекладки для сборки фронтальной и задней половинок			Материалы для сбора боковых стенок
						<p>Листы ДСП Нержавеющие трубы для каркасной сборки Держатели вертикальные для каркасной сборки Тройники угловые для каркасной сборки Трубки термоусадочные Провод ПВС 2х1,5</p>
2 шт.	2шт.	1шт.	3 шт	3 шт	3 шт	

Таблица Г.3 - Спецификация оборудования для мобильной системы трехмерного сканирования

Название и внешний вид	Компоненты	Кол -во	Описание
 <p>Фронтальная половинка</p>	Canon EOS 550D kit EF-S 18-55mm f/3.5-5.6 IS фотокамера	1	<p>Подходит для использования в качестве мобильного и стационарного комплекса</p> <p>Скорость получения информации 1-3 сек.</p> <p>Характерная точность 1/2000 от величины объекта</p> <p>Размер измеряемых объектов от 0,01 м</p> <p>Рекомендуемый размер объектов 0,1-2 м</p> <p>Дистанция от камеры до объекта - переменная</p>
	Активный USB-кабель	1	
	Устройство для установки камеры:	1	
	Держатель Manfrotto 035 super clamp 035	1	
	Держатель Manfrotto 045 045		
	Программа для дистанционного управления фотокамерой DSLR Remote Pro for Windows	1	
	Уникальная матрица из геометрических элементов сине-зеленого цвета	1	
	Пульт дистанционного управления камерой	1	
	Светильники светодиодные	10м	
	Крепежи для фиксации стенок		
	Трансформаторы	2	
	Стационарный компьютер и монитор	1	

Название и внешний вид	Компоненты	Кол -во	Описание
 <p data-bbox="176 1091 551 1174">Фронтальная половинка со включенным освещением</p>	Вращающаяся платформа для установки объекта измерений	1	
	Опытное ПО для построения трехмерной модели и измерения размерных признаков	1	
	Тканевый фон синего цвета.	2	
	Тканевые боковые стенки измерительной кабинки	2	

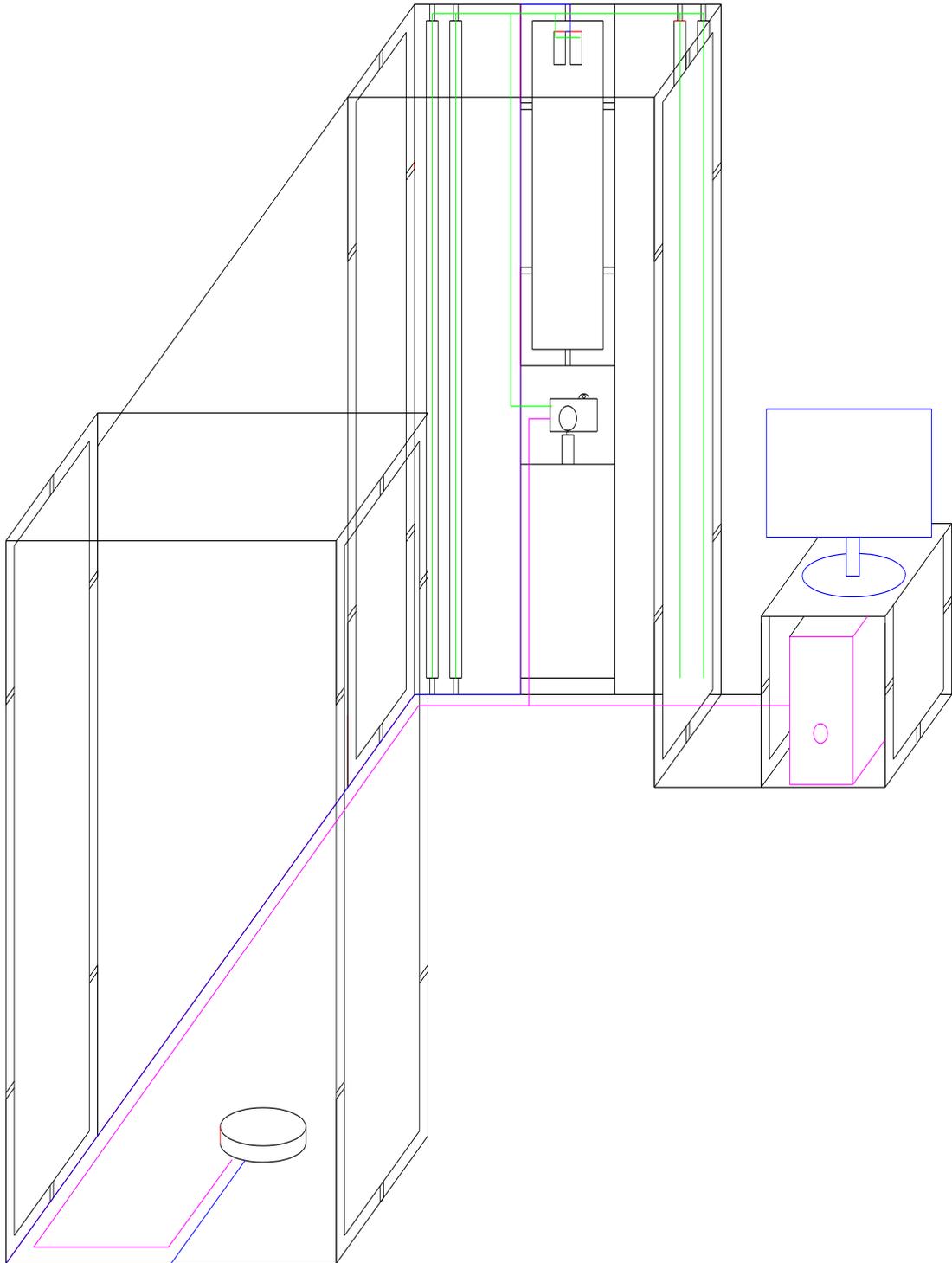


Рисунок Г.6 – Чертеж расположения силовой, управляющей и низковольтной проводки

Синий - силовая проводка 220 V.

Розовый – управляющая проводка,

Зеленый – низковольтная проводка

Подключение технических средств комплекса производить согласно электрической схеме, приведенной на рис. Г7

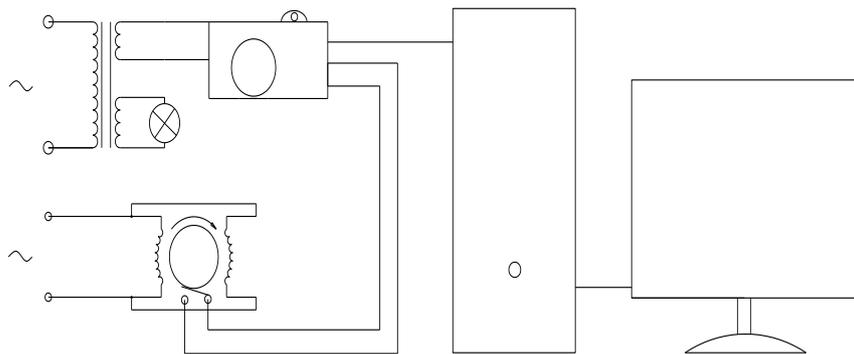


Рисунок Г.7 - Схема подключения технических средств комплекса

• ПРИЛОЖЕНИЕ Д**• ПРОТОКОЛЫ ПРОВЕДЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ ОПЫТНЫХ ОБРАЗЦОВ СИСТЕМ ТРЕХМЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ****1. Наименование средства измерения**

- Система трехмерного сканирования стационарная,
- система трехмерного сканирования мобильная,
- дигитайзер,
- сантиметровая лента

2. Наименование измеряемых объектов

- 1 – статичный объект – манекен
- 2 – динамичный объект - индивидуальная фигура
- 3 – лекала женского платья

3. Программа испытаний

По разработанной в диссертации методике, п. 4.1.2.

4. Результаты испытаний

Занесены в сводные таблицы Д1, Д2, Д3

Таблица Д1 - Измерения индивидуальной фигуры с использованием систем трехмерного сканирования и контактного метода

Размерный признак	Контакт способ	Система трехмерного сканирования стационарная Количество измерений										Система трехмерного сканирования мобильная Количество измерений									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		1	172,46	172,8705	171,8705	172,4797	172,3465	172,3465	172,3465	172,4856	172,3465	172,4856	172,8705	172,4797	171,8705	172,8759	172,3465	172,4856	172,3465	172,8705	172,4856
4	143,3	142,4797	142,8705	142,4797	143,4797	143,3465	143,3465	143,4797	143,8705	143,4856	143,3465	142,8705	142,8705	142,4797	143,4797	143,4856	143,3465	142,8767	143,3465	143,4856	143,3465
5	139,47	138,4797	138,4703	138,4797	139,8705	139,8704	139,8703	139,4745	139,0549	139,8773	139,3465	138,4745	138,8709	138,4797	139,9774	139,8759	139,8705	139,8709	139,8745	139,7759	139,8856
35''	11,40	12,8705	11,854	11,3465	12,4797	12,4703	12,8705	12,8709	12,4795	12,8705	12,4856	11,8707	11,4797	12,4745	12,8705	11,8767	11,4797	11,8704	11,4797	11,4703	11,4797
27	84,60	84,3465	84,8703	84,4797	84,4856	83,4797	83,4703	84,8707	84,3468	84,8703	84,8705	83,8705	83,8704	84,8702	84,4792	84,4856	84,3465	83,4797	83,4703	83,8705	83,4797
53	38,30	38,8703	37,4797	37,8705	37,4797	38,4856	38,8705	38,8704	38,3467	38,8705	38,4856	39,8709	39,4703	38,8705	38,4797	38,8704	38,8703	38,3467	38,8705	38,8705	38,3465
99	28,47	28,8705	28,3465	29,3467	28,3467	28,8709	28,4797	28,8705	28,8709	28,3465	28,4797	28,8705	28,8704	28,4797	27,4797	28,8705	28,3465	28,8704	28,8709	28,4795	28,8705
46	19,22	18,4797	18,8705	19,8703	19,4795	19,4856	19,3465	19,8703	19,4856	19,8709	19,5897	19,4856	18,4703	18,4797	18,89367	19,3465	19,8705	19,4856	18,4797	18,8705	19,4856
55	26,47	26,4797	26,8705	26,4792	26,4703	26,8704	26,8706	26,4792	26,4794	26,8705	26,4703	27,8703	26,4797	26,8707	26,4797	26,4797	26,8709	26,8705	26,8705	26,4797	26,8705
56	36,40	36,873	36,4797	36,4797	36,4856	35,4797	36,8700	36,8705	36,3460	36,4797	36,8705	36,8709	36,4793	36,4797	35,4797	35,8700	35,4797	36,4795	36,8705	36,8705	36,8709

Таблица Д.2 - Измерения манекена с использованием систем трехмерного сканирования и контактного метода

Размерный признак	Контакт Т	Система трехмерного сканирования стационарная Количество измерений										Система трехмерного сканирования мобильная Количество измерений									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		1	172,68	172,6 454	172,4 357	172,4 357	172,4 357	172,4 357	172,4 357	172,4 568	172,4 357	172,4 568	172,45 68	172,4 357	172,4 357	172,4 568	172,6 454	172,4 568	172,4 357	172,4 568	172,4 568
4	143.30	142,3 456	142,3 456	142,3 456	142,3 879	142,3 879	142,3 498	142,3 879	142,3 870	142,3 498	142,38 79	142,3 498	142,3 879	142,3 498	142,3 456	142,3 498	142,3 879	142,3 879	142,3 456	142,3 456	142,3 498
5	139,45	139,4 890	139,4 890	139,4 890	139,4 890	139,4 235	139,4 876	139,4 876	139,4 235	139,4 876	139,48 76	139,4 890	139,4 890	139,4 890	13,48 90	139,4 876	139,4 235	139,4 876	139,4 876	139,4 235	139,4 235
35''	11,95	12,00 91	11,99 98	1199 98	12,00 91	12,00 91	12,00 91	12,00 91	1200 91	12,00 91	12,091 0	11,99 98	12,00 91	12,00 91	11,99 98	11,99 98	11,99 98	12091 2	11999 8	11798 8	11,99 68
73	112,56	112,6 574	111,5 847	111,6 584	111,5 840	111,5 846	112,6 574	111,3 584	111,5 844	111,5 841	111,45 84	110,5 849	110,8 584	111,5 841	111,5 742	111,5 843	111,6 584	111,6 574	111,6 574	111,6 574	111,6 574
27	84,25	84,32 58	84,25 82	84,25 89	84,25 80	83,25 89	83,25 87	84,25 82	8425 81	84,22 58	84,225 8	83,25 87	84,25 86	84,25 89	84,12 58	84,25 80	84,32 58	84,22 58	84,32 58	84,25 80	84,22 58
53	38,10	38,21 38	37,13 89	38,13 86	38,13 89	38,13 80	38,13 82	38,13 84	38,11 38	38,21 38	38,013 8	38,13 84	38,13 80	38,13 85	38,61 38	38,11 38	38,13 82	38,41 38	38,13 81	38,71 38	38,21 38
99	28,5	28,62 54	28,36 25	29,62 51	28,62 51	28,62 54	28,56 25	28,66 25	28,46 25	28,62 53	28,625 5	29,06 25	28,62 55	28,86 25	28,62 54	29,16 25	29,06 25	28,86 25	28,76 25	28,66 25	28,56 25
46	19,14	18,97 85	18,78 56	19,27 85	19,57 85	19,78 50	19,78 51	19,78 52	19,78 50	19,78 54	19,785 1	19,47 85	19,78 52	18,87 85	18,78 55	19,17 85	18,97 85	19,07 85	18,78 57	19,07 85	19,07 85
55	26,90	26,88 65	26,88 68	26,88 65	26,88 67	26,88 64	26,88 68	26,88 69	26,88 65	26,88 62	26,886 7	26,88 86	26,28 86	26,78 86	26,88 62	26,88 67	26,88 65	26,88 68	26,88 67	26,88 86	26,68 86
56	36,54	36,46 72	36,46 75	36,46 79	36,46 70	36,46 78	36,46 74	36,44 67	36,34 67	36,46 75	36,446 7	36,46 70	35,24 67	35,46 78	36,46 71	35,46 79	36,46 72	36,46 71	35,46 79	36,46 79	36,46 73

Таблица Д.3 Измерения лекал с использованием дигитайзера и контактного метода

Размерный признак	Контакт Т	Дигитайзер										Дигитайзер									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		Длина спинки	68,68	68,6 454	68,4 357	68,4 357	68,4 357	68,4 357	68,4 357	68,4 568	68,4 357	68,4 568	68,45 68	68,43 57	68,43 57	68,45 68	68,64 54	68,45 68	68,43 57	68,45 68	68,45 68
Ширина спинки	19,30	19,3 456	19,3 456	19,3 456	19,3 879	19,3 879	19,3 498	19,3 879	19,3 870	19,3 498	19,38 79	19,34 98	19,38 79	19,34 98	19,34 56	19,34 98	19,38 79	19,38 79	19,34 56	19,34 56	19,34 98
Длина бокового среза	49,45	49,4 890	49,4 890	49,4 890	49,4 890	49,4 235	49,4 876	49,4 876	49,4 235	49,4 876	49,48 76	49,48 90	49,48 90	49,48 90	13,48 90	49,48 76	49,42 35	49,48 76	49,48 76	49,42 35	49,4 235
Длина горловины	11,95	12,0 091	11,9 998	11,99 98	12,0 091	12,0 091	12,0 091	12,0 091	12,00 91	12,0 091	12,09 10	11,99 98	12,00 91	12,00 91	11,99 98	11,99 98	11,99 98	12,09 12	11,99 98	11,79 88	11,99 68
Ширина на л. Талии	18,56	18,6 574	18,5 847	18,6 584	18,5 840	18,5 846	18,6 574	18,3 584	18,5 844	18,5 841	18,45 84	110,5 849	110,8 584	18,58 41	18,57 42	18,58 43	18,65 84	18,65 74	18,65 74	18,65 74	18,65 74
Ширина на л. бедер	27,25	27,3 258	27,2 582	27,2 589	27,2 580	83,2 589	83,2 587	27,2 582	84,25 81	27,2 258	27,22 58	83,25 87	27,25 86	27,25 89	27,12 58	27,25 80	27,32 58	27,22 58	27,32 58	27,25 80	27,22 58

ПРИЛОЖЕНИЕ Е

Выявление значимости антропометрических критериев

Анкета

Уважаемый эксперт! Просим Вас принять участие в интересном научном эксперименте, в ходе которого будут выявлены единые критерии и параметры для измерения одежды, фигуры человека, лекал, трехмерного эскиза и способ их сравнительной оценки друг с другом для проведения виртуальной примерки.

Перед заполнением анкеты сообщите, пожалуйста, информацию о себе, необходимую для дальнейшей обработки и подтверждения достоверности полученных результатов.

○ Сведения об эксперте

Ф.И.О.	
Место работы	
Специальность	
Стаж работы по специальности	

Вопрос 1. Перед вами в таблице 1 представлен ряд антропометрических параметров, сравнивая которые можно установить соответствие размера изделия реальной фигуре. Оцените степень важности каждого показателя, присваивая ранг от 1 (наиболее важный показатель) до 10 (наименее важный показатель).

Таблица Е1 - Антропометрические параметры для плечевой одежды

	РП фигуры или антропометрич 3D модели	Параметр в готовой одежде	Параметр в трехмерном эскизе	Параметр в лекалах	Оценка
1	T40	Длина спинки			
2	T47	Ширина спинки			
3	T57	Ширина изделия на уровне глубины проймы			
4	T33 – T31	Длина рукава			
5	T18 или T55	Ширина изделия по линии талии			
6	T19 или T56	Ширина изделия на уровне линии бедер			
7	T44-T43	Длина переда			
8	T45	Ширина переда или полочки по линии груди			
10	0,5 T30	Ширина рукава внизу			
	Другое				

Таблица Е 2 - Антропометрические параметры для поясной одежды

Поясные изделия (брюки)		
1	T25	Длина по боковому шву
2	0,5T18	Длина половины пояса или ширина по линии талии
3	0,5 T19	Ширина на уровне бедер
4	T27	Длина по внутреннему шву
5	T77	Длина среднего шва брюк
Поясные изделия (юбка)		
1	0,5T18 или T55	Ширина юбки по талии
2		Длина юбки
3	0,5 T19	Ширина юбки на уровне линии бедер
Головные уборы		
	T58	Длина внутренней окружности
Корсетные изделия		
		Ширина под чашками
		Ширина по линии бедер

**Таблица Е.3 – Ранговая оценка значимости критериев выбора для
плечевой одежды**

Эксперт	Параметры									
1	1	8	9	3	6	2	4	7	5	10
2	1	9	7	4	6	2	3	8	5	10
3	1	8	9	3	6	2	4	7	5	10
4	1	8	9	3	6	2	4	7	5	10
5	2	7	9	3	6	1	4	8	5	10
6	2	8	10	3	7	1	5	6	4	9
7	1	8	9	3	6	2	4	7	5	10
8	1	7	9	4	6	2	3	8	5	10
9	1	7	9	4	5	2	3	8	6	11
10	1	8	9	3	6	2	4	7	5	9
11	1	8	9	3	6	2	4	7	5	10
12	1	9	8	3	5	2	4	7	6	10
13	1	9	8	3	6	2	4	7	5	10
14	2	8	9	3	6	1	5	7	4	10
15	2	8	10	3	7	1	4	6	5	9
16	2	8	9	3	7	1	4	6	5	10
17	1	8	9	4	6	2	3	7	5	10
18	1	8	9	3	5	2	4	7	6	11
19	1	8	10	3	6	2	4	7	5	9
20	2	8	9	3	7	1	4	6	5	10
21	1	9	8	3	7	2	5	6	4	10
22	1	7	9	3	6	2	4	8	5	10
23	1	8	9	3	6	2	5	7	4	10
24	2	8	9	3	6	1	4	7	5	10
25	1	8	10	3	7	2	4	6	5	9
26	1	8	9	4	7	2	3	6	5	11
27	1	7	9	3	5	2	4	8	6	10
28	1	8	9	4	6	2	3	7	5	10
29	1	8	9	4	5	2	3	7	6	10
30	1	9	8	4	5	2	3	7	6	11
31	3	8	9	1	7	2	4	6	5	10
32	1	8	10	3	6	2	4	7	5	9
33	1	7	9	3	6	2	4	8	5	10
34	1	7	10	3	6	2	5	8	4	9
35	1	8	9	3	7	2	4	6	5	10
36	1	8	9	3	6	2	4	7	5	10
37	1	8	7	3	6	2	4	9	5	11
38	2	8	9	3	6	1	5	7	4	10
39	1	8	9	3	5	2	4	7	6	9
40	1	8	10	4	6	2	3	7	5	9
41	1	9	8	4	6	2	3	7	5	10
42	2	7	9	4	5	1	3	8	6	10
43	1	8	9	3	6	2	4	7	5	10
44	1	8	10	3	7	2	4	6	5	9
45	2	8	9	3	6	1	5	7	4	10
46	1	7	9	3	6	2	5	8	4	11
47	1	8	9	4	6	2	3	7	5	10
48	2	8	9	3	7	1	4	6	5	10
49	1	8	9	3	6	2	4	7	5	10
50	1	8	10	3	6	2	4	7	5	9
51	1	7	9	3	5	2	4	8	6	10

52	1	8	9	2	6	3	5	7	4	10
53	1	8	9	2	7	3	5	6	4	11
54	1	8	9	3	7	2	5	6	4	10
55	1	7	9	3	6	2	4	8	5	10
56	1	7	10	3	6	2	4	8	5	9
57	2	8	10	3	6	1	4	7	5	9
58	1	8	9	2	6	3	4	7	5	10
59	1	8	9	3	6	2	4	7	5	10
60	1	9	8	3	7	2	5	6	4	10
61	1	7	9	2	6	3	4	8	5	10
62	1	8	9	2	6	3	4	7	5	11
63	1	8	10	3	7	2	4	6	5	9
64	1	7	9	4	6	2	3	8	5	10
65	2	8	9	3	5	1	4	7	6	10
66	1	8	9	4	6	2	3	7	5	11
67	1	8	9	3	6	2	4	7	5	10
68	1	8	9	3	7	2	4	6	5	10
69	1	8	9	3	6	2	4	7	5	10
70	2	8	9	3	5	1	4	7	6	10
71	2	9	8	3	6	1	4	7	5	10
72	2	8	10	3	6	1	4	7	5	9
73	1	8	10	4	5	2	3	7	6	9
74	1	8	9	3	6	2	4	7	5	10
75	1	8	10	3	7	2	4	6	5	9
76	1	8	7	3	6	2	4	9	5	10
77	1	7	9	3	6	2	4	8	5	10
78	1	8	9	3	6	2	5	8	4	10
79	1	8	9	3	5	2	4	7	6	10
80	1	8	9	2	6	3	5	7	4	10
81	1	9	10	3	6	2	4	7	5	8
82	1	8	9	3	7	2	4	6	5	10
83	2	8	9	4	6	1	3	7	5	10
84	1	8	9	3	6	2	4	7	5	10
85	1	8	7	3	6	2	4	9	5	10
86	1	8	9	3	5	2	4	7	6	10
87	1	8	9	4	6	2	3	7	5	10
88	1	9	7	4	6	2	3	8	5	10
89	1	8	9	2	7	3	4	6	5	10
90	1	8	9	3	6	2	4	7	5	10
91	1	9	10	3	6	2	5	7	4	8
92	1	8	9	4	6	2	3	7	5	10
93	1	8	9	3	7	2	4	6	5	10
94	2	8	9	3	5	1	4	7	6	10
95	1	8	10	6	3	4	7	5	4	10
96	2	9	10	6	1	4	7	5	5	8
97	1	9	10	6	3	2	7	5	5	10
98	1	8	9	6	3	4	7	5	5	10
99	1	8	9	5	2	4	7	6	5	10
100	1	9	8	6	2	3	7	5	5	10
101	1	8	9	6	2	3	7	5	6	10
102	2	8	9	6	2	3	7	5	5	10
103	2	8	9	6	3	4	7	5	5	10
104	2	8	7	5	3	4	9	6	5	10
105	1	8	9	6	2	5	7	4	5	10
106	2	8	9	6	1	4	7	5	4	8
107	1	8	9	6	2	4	7	5	5	10
108	1	8	10	6	2	3	7	5	5	10
109	1	8	10	7	2	4	6	5	6	10
110	2	8	9	6	1	5	7	4	5	10

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

Таблица Ж.1 - Перечень размерных признаков, участвующих в программе измерений

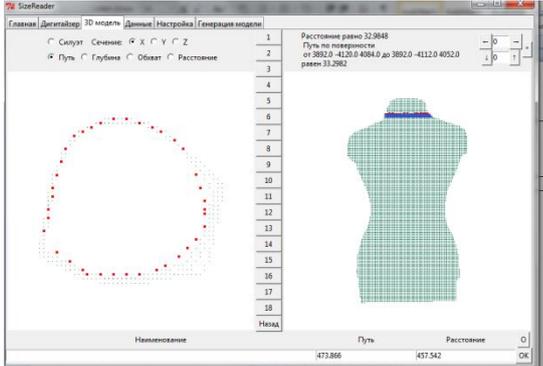
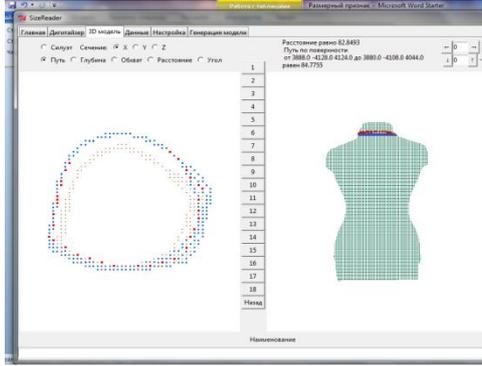
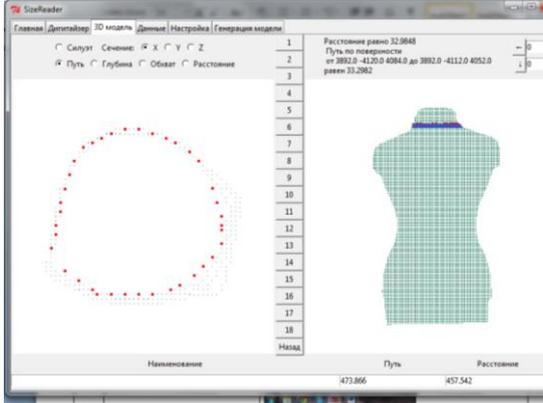
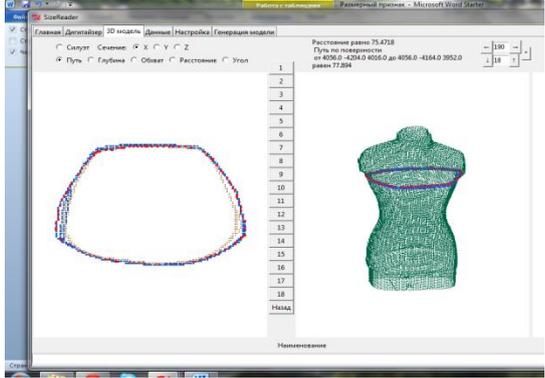
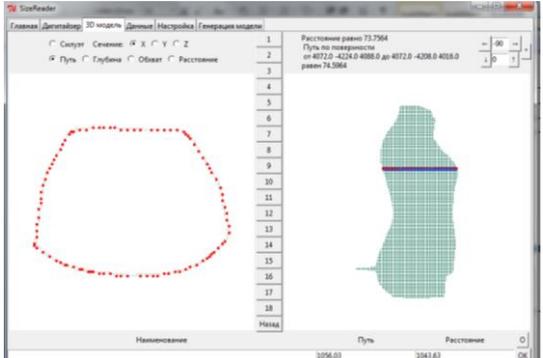
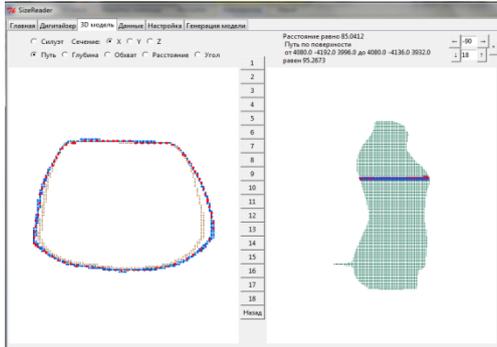
№ п/п	Размерные признаки	ГОСТ	Условное обозначение
1	Обхват шеи	13	Ош
2	Обхват груди первой	14	Ог1
3	Обхват груди третий	16	Ог3
4	Обхват груди четвертой	17	Ог4
5	Обхват талии	18	От
6	Обхват без бедер с учетом выступа живота	20	Об
7	Ширина плечевого ската	31	Шп
8	Ширина груди	45	Шг
9	Расстояние между сосковыми точками	46	Цг
10	Ширина спины	47	Шс
11	Переднезадний диаметр руки	57	dпрз
12	Ширина талии переда		Шт.п
13	Ширина талии спины		Шт.с
14	Ширина бедер переда		Шб.п
15	Ширина бедер спины		Шб.с
16	Расстояние от точки основания шеи сбоку до линии обхвата груди первого спереди	34а	Впрп
17	Высота груди от точки основания шеи	35а	Вг
18	Длина талии переда	36а	Дтп
19	Расстояние от точки основания шеи сзади до линии обхватов груди первого и второго	39	Впрз
20	Длина спины до талии с учетом выступа лопаток	40	Дтс
21	Высота плеча косая	41	Впк
22	Расстояние от линии талии сзади до точки осн. шеи сбоку	43	Дтс1
23	Дуга верхней части туловища через точку основания шеи сбоку	44	Двчт
24	Расстояние от линии талии до подъягодичной складки	104	Дт
25	Плечевой диаметр	53	
26	Поперечный диаметр шеи	54	
27	Поперечный диаметр талии	55	
28	Поперечный диаметр бедер	56	
29	Тазовый диаметр	65	
30	Ширина спины (проекционная)	66	
31	Ширина груди (проекционная)	92	
32	Переднезадний диаметр талии	95	Дпзт
33	Переднезадний диаметр обхвата груди	98	Дпзг
34	Передний диаметр груди	99	Дгр
35	Глубина талии первой (от лопаток)	78	Гт1
36	Глубина талии второй (от ягодиц)	79	Гт2
37	Глубина шеи	83	Гш
38	Глубина линии талии сбоку		Гтб

Таблица Ж. 2- Величины размерных признаков исходного и модифицированного манекена

№ п/п	Размерный признак по ГОСТ	Условное обозначение	Манекен исходный I2 мм	Модифицированный манекен I1 мм	Прибавка фактическая мм
1	13	Ош	375,867	405,673	29,806
2	14	Ог1	1069,88	1069,97	0,09
3	16	Ог3	968,03	1029,19	61,16
4	17	Ог4	923,729	971,671	47,942
5	18	От	740,354	796,47	56,116
6	19	Об	1000,86	1068,35	67,49
7	31	Шп	143,892	146,234	2,342
8	34а	Впрп	177,402	196,496	19,094
9	35а	Вг	269,568	270,192	0,624
10	36а	Дтп	450,454	453,115	2,661
11	39	Впрз	171,835	172,696	0,861
12	40	Дтс	388,137	396,807	8,67
13	41	Впк	380,599	401,563	20,964
14	43	Дтс1	388,338	401,752	13,414
15	44	Двчт	810,221	847,631	37,41
16	61	Дтп1	421,883	445,879	23,996
17	45	Шг	345,42	358,694	13,274
18	46	Цг	192,149	201,947	9,798
19	47	Шс	363,512	377,886	14,374
20	57	дпрз	107	112,32	5,32
21	104	Дт	319,435	328,224	8,789
22		Впк.п	40,9	41,5	0,6
23	53		380	380,084	0,084
24	54		136,235	143,388	7,153
25	55		252,127	256,282	4,155
26	56		348	352,204	4,204
27	65		283	284,11	1,11
28	66		352,4	364	11,6
29	99		328,024	328,024	0
30	95		216,148	220,145	3,997
31	98		276,029	276	-0,029
32	99		322,024	336,024	14
33	78		48,1664	48,166	-0,0004

Проекционные зазоры между некоторыми контурами сечений исходного и модифицированного манекена

Таблица 3.1

Размерный признак	Исходный манекен <i>I2</i>	Модифицированный манекен <i>II</i>
1	2	3
13 Ош	<p>375,45</p> 	<p>410,08</p> 
14 Ог1	<p>1069,88</p> 	<p>1069,97</p> 
16 Ог3	<p>1056,03</p> 	<p>1058,19</p> 

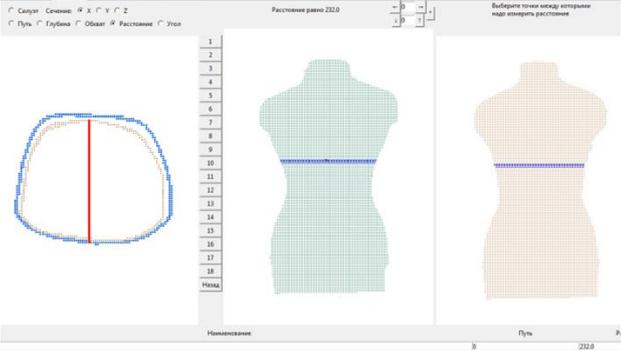
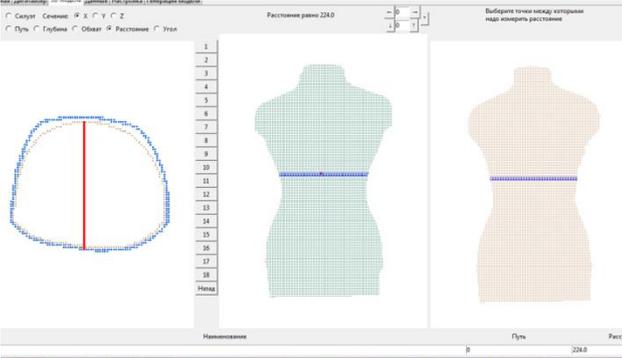
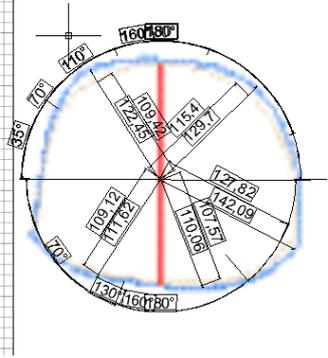
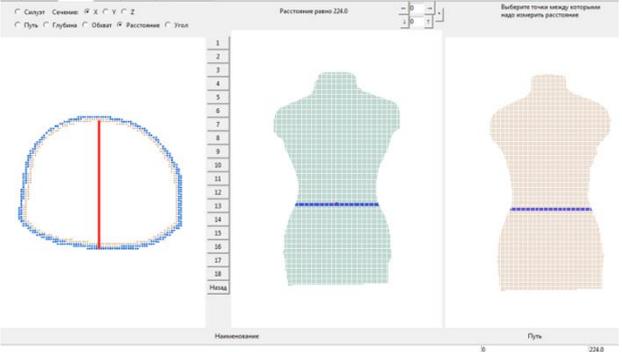
Продолжение таблицы 3.1

	2	3
17 Ог4	923,729	971,671
	<p>Distance: 89.888</p>	<p>Distance: 93.889</p>
18 От	790,354	796,47
	<p>Distance: 130.399</p>	<p>Distance: 44.734</p>
19 Об	1070,86	1088,35
	<p>Distance: 155.589</p>	<p>Distance: 188.488</p>
31 Шп	143,892	146,234
	<p>Distance: 138.852</p>	<p>Distance: 138.37</p>

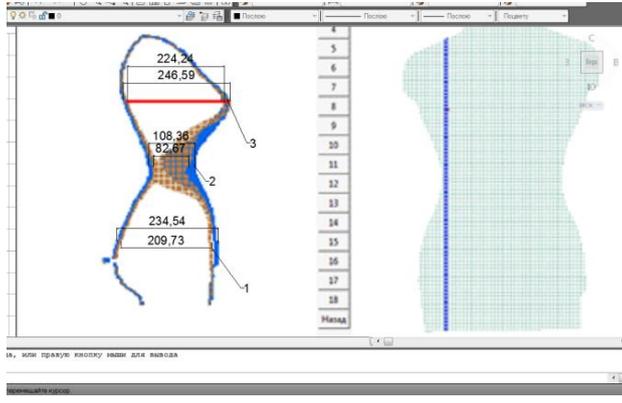
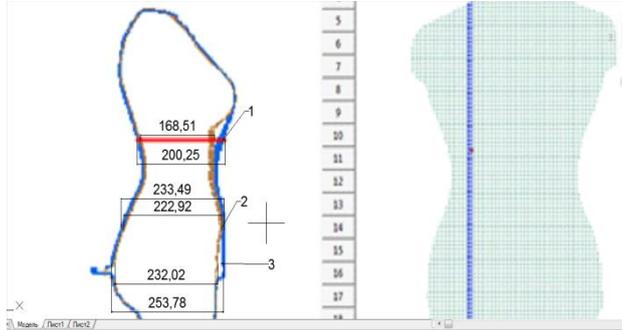
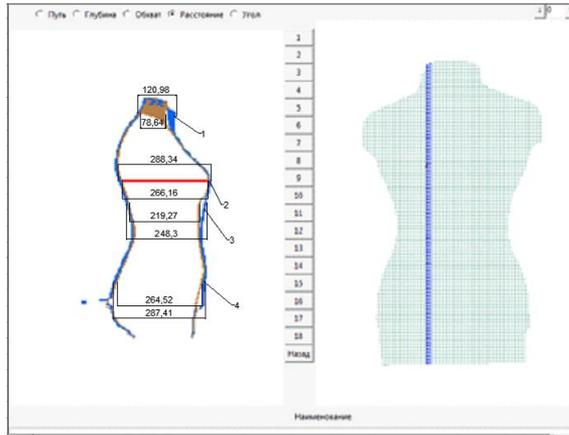
Таблица 3.2 - Значения проекционных зазоров между исходным и модифицированным манекеном некоторых сагиттальных и трансверсальных сечений

Уровень	Изображение сечения и совмещаемых манекенов	Оси	d2	d1	d2-d1=Δd
1	2	3	4	5	6
Горизонтальные членения					
1		у	132	114	18
		X	133	109	24
2		У	145	120	25
		X	158	128	30
3		У	156	144	12
		X	321	291	30
4		У	228	228	0
		X	491	451	40

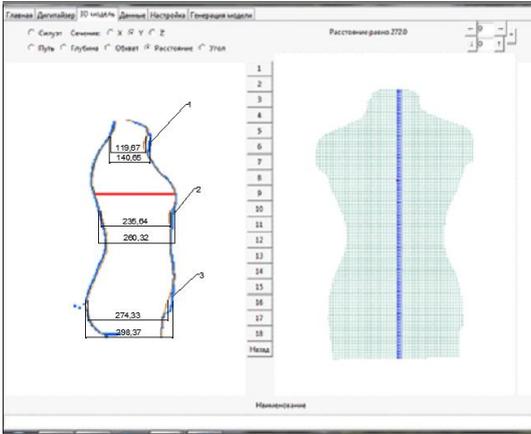
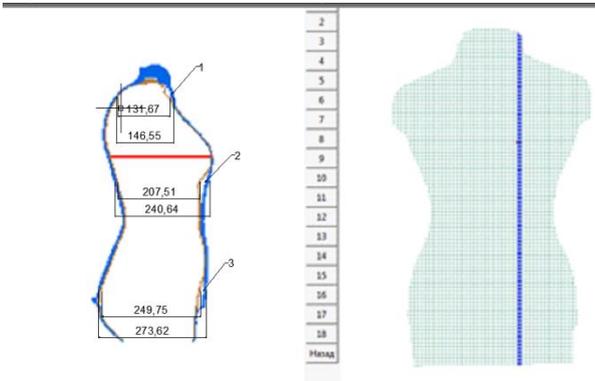
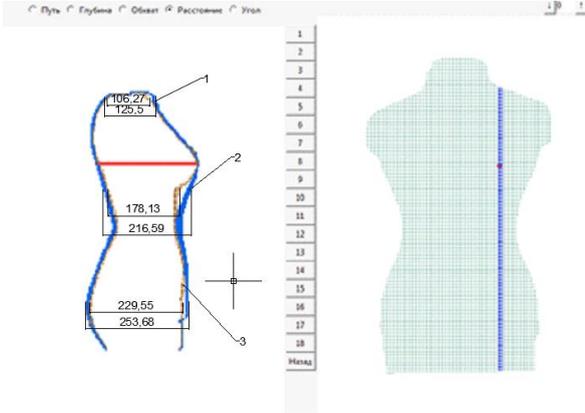
Продолжение таблицы 3.2

1	2	3	4	5	6
8		У	230	218	12
		Х	272	248	24
9		у	230	220	10
		х	269	258	11
10		У 90	217	213	5
		Х 180	249	244	6
11		у	222	207	15
		х	260	241	19

Продолжение таблицы 3.2

1	2	3	4	5	6
18		1	234,54	209,73	24,81
		2	108,36	82,67	25,69
		3	246,59	224,24	22,35
19		1	200,35	168,51	31,84
		2	233,49	222,92	10,57
		3	253,78	232,02	21,76
20		1	120,98	78,64	42,34
		2	288,34	266,16	22,18
		3	248,3	219,27	29,03
		4	287,41	264,0	23,41

Продолжение таблицы 3.2

1	2	3	4	5	6
21		1	140,65	119,67	20,98
		2	260,32	235,64	24,68
		3	298,37	274,33	24,04
22		1	146,55	131,67	14,88
		2	240,64	207,51	33,13
		3	273,62	249,75	23,87
23		1	125,5	106,27	19,23
		2	218,5	178,13	40,37
		3	253,68	229,55	24,13

ПРИЛОЖЕНИЕ И

Таблица И. 1 – Исходная информация для проектирования БК женского платья

Номер размерного признака	Наименование размерного признака	Условное обозначение
13	Полуобхват шеи	Сш
15	Полуобхват груди второй	Сг1
16	Полуобхват груди третий	Сг2
18	Полуобхват талии	Ст
19	Полуобхват бедер с учетом выступа живота	Сб
26	Расстояние от линии талии до пола	Дсп
35	Высота груди (от точки основания шеи сбоку)	Вг
	Высота груди проекционная (от уровня точки основания шеи сбоку)	Вг1
39'	Высота проймы сзади (от точки основания шеи сбоку)	Впр.з1
40	Длина спины до талии с учетом выступа лопаток	Дт.с
43	Длина спины до талии (от точки основания шеи сбоку)	Дт.с1
45'	Ширина груди большая	Шг.б
46	Расстояние между сосковыми точками	Цг
47	Ширина спины	Шс
57	Передне-задний диаметр руки	дп.з.р
61	Длина талии спереди (от точки основания шеи сбоку)	Дт.п
T4 – T87	Расстояние от уровня точки основания шеи сбоку до лопаточной точки (проекционное)	Вл
	Длина от точки основания шеи сбоку до лопаточной точки	Дл
	Длина от точки основания шеи сбоку до уровня линии груди через лопаточную точку	Длг
	Расстояние между центрами лопаток	Цл
	Угол наклона плечевого ската	$\angle \gamma \phi$
	Выступ живота	Гж
	Выступ ягодиц	Гя
Серым цветом отмечены строки с дополнительными измерениями, получаемыми системой трехмерного сканирования		

Таблица И. 2 - Расчет параметров конструкции женского платья полуприлегающего силуэта

Конструктивный отрезок (см. рисунок 23)		Расчетная формула
Наименование	Обозначение	
Положение конструктивных горизонталей		
1. Исходная горизонталь – плечевая	от т.11	
2. Ширина базисной сетки чертежа	11-171	Шс + дпзр + Шгб + Пг2
3. Расстояние от плечевой горизонтали до лопаточной	11-21	Дл

Продолжение таблицы И. 2

4. Расстояние от плечевой горизонтали до подмышечной	11-31	Впрз1
5. Расстояние от плечевой горизонтали до линии талии	11-41	Дтс1 + Пд.тс1
6. Расстояние от линии талии до линии бедер	41-51	0,5Дт.с
7. Расстояние от линии талии до горизонтали низа	11-91	Дсп – Вк + Пд.и
8. Расстояние от линии талии до верхней балансовой горизонтали переда (до уровня вершины горловины переда)	47-471 471-17	Длп – (Дтс1 – Дл) Дтп+Пд.тп
9. Передне – задний баланс конструкции верхний	17-171	Результат графического построения
10. Расстояние от уровня вершины горловины переда до линии груди	17-371	Вг + Пв.г
11. Расстояние от горизонтали низа до нижней балансовой горизонтали переда	97-971	1,0
Положение конструктивных вертикалей		
12. Ширина спинки	31-33	Шс+Пш.с
13. Ширина проймы	33-35	дпзр+Пш.пр
14. Контроль: ширина переда	35-57	Шгб+Пш.п
Горловина спинки		
15. Ширина горловины	11-12	0,35Сш + Пш.г.с
16. Высота горловины	12-121	Дтс1 – Дтс – 0,5
17. Прямолинейный участок контура горловины	11-111	0,25/11-12/
18. Вспомогательный отрезок на биссектрисе $\angle 111-12-121$	12-121	0,64/12-121/
Плечевой срез и верхняя вытачка спинки		
19. Угол наклона плечевого среза относительно исходной горизонтали из т.121	$\angle \gamma_{сп}$	$\angle \gamma_{ф} - 1...2^\circ$
20. Корректировка ширины плеча [ЕМКО]	13-14	3,5 – 0,16Шс
21. Плечевой срез	121-14	Т.14–на расстоянии 13-14 от вертикали из т.33
22. Расстояние от вершины горловины спинки до плечевой вытачки	121-123	0,25...0,3/121-14/
23. Положение лопаточной точки	21-22	Цл + 0,5...1

Продолжение таблицы И.2

24. Раствор вытачки на дуге радиуса Цл	221-221'	Дл – Вл
25. Раствор вытачки на дуге радиуса 22-123	123-123'	
26. Длина вытачки	123-222	6...8 см
27. Дуга перемещения плечевой точки 14 при введении вытачки	Центр дуги в т.33	/33-14/ – размер с чертежа
28. Перемещение плечевой точки 14 по дуге	14-14'	123-123'
29. Дуга перемещения конца плечевого среза 14' при закрытии вытачки	Центр дуги в т.222	/222-14'/ – размер с чертежа
30. Длина плечевого среза спинки от вершины горловины до вытачки	121-125	
31. Дуга уравнивания сторон вытачки	Центр дуги в т.222	222-125' = 222-125
32. Плечевой срез от вытачки до конца	125'-14'	прямая линия
Плечевой срез и верхняя вытачка переда		
32. Ширина горловины	17-16	/11-12/-0...0,8
33. Глубина горловины	17-172	/17-16/+1,0
34. Радиус дуги контура горловины	R	17-172
35. Угол наклона плечевого среза относительно горизонтали из т.16	$\angle\gamma_{п}$	$\angle\gamma_{ф} + 1...2^{\circ}$
36. Длина плечевого среза переда	16-(14)	
37. Длина плечевого среза переда от вершины горловины до вытачки	16-161	
38. Расстояние от линии середины переда до центра выпуклости	371-36	Цг+0,5...1,5
39. Раствор вытачки на дуге радиуса Цг	26-26'	Вг – Вг1
40. Дуга уравнивания сторон вытачки	R	/36-161/-размер с чертежа
41. Вторая сторона верхней конструктивной вытачки переда	36-161'	36-161
42. Плечевой срез от вытачки до конца среза	161'-14''	161-(14)
Пройма		
43. Расстояние от подмышечной горизонтали до горизонтали основания проймы	33-331	Пспр
44. Ширина заднего участка проймы	331-341	0,6/33-35/

Продолжение таблицы И.2

45. Расстояние от горизонтали основания проймы до точки касания контура проймы с вертикалью ширины спинки	331-332	0,6/33-35/
46. Расстояние от горизонтали основания проймы до точки касания контура проймы с вертикалью ширины переда	351-352	0,4/33-35/
Оформление нижних и верхних участков проймы выполняется известными способами		
Боковые срезы и вытачки на талии		
47. Положение вершины бокового шва на линии проймы	т. 347	
48. Боковая вертикаль	347-94	от точки 347
49. Расстояние от средней линии спинки до сгиба вытачки.	41-42	0,5/31-33/
50. Вертикаль сгиба вытачки спинки	32-52	через точку 34
51. Вертикаль сгиба вытачки переда	36-56	от точки 36
52. Ширина изделия на линии талии	41-470	Ст+Пт
53. Суммарный раствор вытачек на талии	41-470	размер с чертежа или /31-37/- (Ст+Пт)
54. Раствор вытачки спинки	421-421'	0,3...0,35/47-470/
55. Раствор боковой вытачки	441-441'	0,5/47-470/
56. Раствор передней вытачки	461-461'	0,15...0,2/47-470/
57. Ширина изделия на линии бедер	51-570	Сб+Пб
58. Дефицит (излишек) ширины изделия на линии бедер	57-570	размер с чертежа или (Сб+Пб) -/31-37/
59. Расширение (заужение) спинки на линии бедер	522-522'	0,85 Гя
60. Расширение (заужение) переда на линии бедер	562-562'	0,65 Гж
61. Расширение (заужение) изделия в боковом шве на линии бедер	541-541'	/57-570/ – 0,85 Гя – – 0,65Гж

ПРИЛОЖЕНИЕ К

Расчет динамических эффектов

ТаблицаК.1 - Значения динамических эффектов по размерным признакам для мужчин

Статистические размерные признаки		Динамические размерные признаки		Абсолютная величина динамического эффекта	Относительная величина динамического эффекта, %	Условное обозначение конструктивной прибавки	Диапазон изменения динамического эффекта,(см)
Обозначение	Величина, (см)	Обозначение	Величина, (см)				
1	2	3	4	5	6	7	8
T47	43,6	T47д	46	2,4	5,5	П47	-4,8 – 7,2
T45	36,6	T45д	39	2,4	6,5	П45	-2,8 – 4,4
T28	34,2	T28д	40	5,8	16,9	П28	-1,2 – 6,0
T41	46,1	T41д	48	1,9	4,1	П41	-0,8 – 2,8
T40	44,0	T40д	46	2,0	4,5	П40	-0,5 – 2,5
T43	49,1	T43д	51,9	2,8	5,7	П43	-0,8 – 2,8
T22	40,4	T22д	43,5	3,1	7,6	П22	0,2 – 3,32
T104	34	T104д	46	12,0	35,2	П104	-2,2 – 12,2
T18	90,5	T18д	94,5	4,0	4,4	П18	2,5 – 5,5
T19	108	T19д	110,5	2,5	2,3	П19	-2,0 – 10,3
T20	105,6	T20д	108,6	2,0	1,9	П20	-1,0 – 8,0
T36	52,8	T36д	53,8	1,0	1,9	П36	-1,9 – 4,1
T61	43	T61д	45,1	2,1	4,9	П61	-2,0 – 4,0

Таблица К.2 Расчет динамических эффектов для женских фигур (поза 2)

№	d1				d2				d3				d4				d5			
	Измерения		Динам. эф-т		Измерения		Динам. эф-т		Измерения		Динам. эф-т		Измерения		Динам. эф-т		Измерения		Динам. эф-т	
	Ст., см	Дин, см	Абс, см	%	Ст., см	Дин, см	Абс, см	%	Ст., см	Дин, см	Абс, см	%	Ст., см	Дин, см	Абс, см	%	Ст., см	Дин, см	Абс, см	%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1	33,7	35,9	2,2	6,5 3	49,5	51,1	1,6	3,2 4	15,5	16	0,5	3,2 3	24,6	25,6	1	4,0 7	46	48,1	2,1	4,57
2	33,2	35,4	2,2	6,6 3	48,8	50,2	1,4	2,8 7	16,7	17,1	0,4	2,4 0	25,5	26,7	1,2	4,7 1	46,3	48,7	2,4	5,18
3	30,7	31,8	1,1	3,5 9	47,6	48,8	1,2	2,5 3	12,4	12,9	0,5	4,0 3	24	24,8	0,8	3,3 3	45,8	48,4	2,6	5,68
4	32,8	34,8	2	6,1	48,4	50,6	2,2	4,5 5	16,3	17,1	0,8	4,9 1	24,9	25,8	0,9	3,6 1	45,9	47	3	6,54
5	33,5	36	2,5	7,4 7	49,1	51,2	2,1	4,2 8	14,9	15,3	0,4	2,6 8	26,2	27,5	1,3	4,9 6	49,9	52,4	2,5	5,01
6	31,6	32,8	1,2	3,8	45,9	46,9	1	2,1 8	14,1	14,6	0,5	3,5 5	24,9	26	1,1	4,4 2	49,2	51,8	2,6	5,28
7	34	36,6	2,6	7,6 5	49,9	51,3	1,4	2,8 1	15,2	15,7	0,5	3,2 9	26,4	27,6	1,2	4,5 5	51	53,9	2,9	5,69
8	30,5	32,4	1,9	6,2 3	46,8	48,6	1,8	3,8 5	15,8	16,4	0,6	3,8 0	24,2	25,1	0,9	3,7 2	48,5	50,9	2,4	4,95
9	34,3	37,1	2,8	8,1 7	50,1	51,8	1,7	3,4	17	17,6	0,6	3,5 3	26	27,1	1,1	4,2 3	51,1	54,2	3,2	6,26
10	40,7	44,2	3,5	8,6	45,8	49	3,2	6,9 9	18,7	19,2	0,5	2,6 7	26,8	28,1	1,3	4,8 5	51,6	54,9	3,3	6,40
Ср. знач.	33,50	35,70	2,20	6,4 8	48,19	49,95	1,76	3,6 7	15,66	16,19	0,53	3,4 1	25,35	26,43	1,08	4,2 4	48,53	51,03	2,70	5,55

Продолжение таблицы К.2

№	b1				a1				a2				a3				a4			
	Измерения		Динам. эф-т		Измерения		Динам. эф-т		Измерения		Динам. эф-т		Измерения		Динам. эф-т		Измерения		Динам. эф-т	
	Ст., см	Дин, см	Абс, см	%	Ст., см	Дин, см	Абс, см	%	Ст., см	Дин, см	Абс, см	%	Ст., см	Дин, см	Абс, см	%	Ст., см	Дин, см	Абс, см	%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1	25,8	26,7	0,9	3,4 9	14,9	12,1	-2,8	-18,8	43,3	52,2 46,3	8,9 3	20,5 6,93	9	11,9	2,9	32,2 3	36, 2	39,7	3,5	9,67
2	24,3	25	0,7	2,8 8	14,7	12,8	-1,9	-12,93	41,2	51,1 37,6	9,9 3,6	24,0 8,74	8,9	10,4	1,5	16,85	35, 3	38,6	3,3	9,35
3	22,8	23,5	0,7	3,0 7	13,9	10,9	-3	-21,58	48,9	58,1 52,3	9,2 3,4	18,8 6,96	9,7	12,4	2,7	27,84	35, 1	38	2,9	8,26
4	23,9	24,8	0,9	3,7 7	13,8	11,7	-2,1	-15,22	45,7	54,4 48,6	8,7 2,9	19,0 6,35	9	10,9	1,9	21,11	36	39,1	3,1	8,61
5	24,8	25,6	0,8	3,2 3	14,4	12,7	-1,7	-11,81	43,8	53,5 46,9	9,7 3,1	22,1 7,08	9	10,7	1,7	18,89	33, 8	37,5	3,7	10,95
6	22,7	23,5	0,8	3,5 2	13,9	12,1	-1,8	-12,95	42,4	51,9 45,6	9,5 3,2	22,4 7,55	8,8	10,2	1,4	15,91	33, 9	37,1	3,2	9,44
7	25,4	26,4	1	3,9 4	14,6	13,5	-1,1	-7,53	47,6	56,5 50,4	8,9 2,8	18,7 5,89	9,5	10,4	0,9	9,47	34, 7	37	3	8,65
8	23,4	24,1	0,7	2,9 9	13,7	12,2	-1,5	-10,95	46,2	55,3 49,5	9,1 3,3	19,7 7,15	9,7	11,1	1,4	14,43	36, 8	40,1	3,3	8,97
9	27	37,9	0,9	3,3 3	15,1	13,2	-1,9	-12,58	48,8	58,6 52,3	9,8 3,5	20,1 7,18	9,3	11	1,7	18,28	35, 9	39,3	3,4	9,47
10	46,5	47,3	0,8	1,7 2	30,8	27,9	-2,9	-9,42	36,5	45,8 39,9	9,3 3,4	25,4 9,32	9,1	11,7	2,6	28,57	32, 3	35,5	3,2	9,91
Ср. знач.	26,66	28,48	0,82	2,8	15,98	13,91	-2,07	-11,49	44,44	53,74 46,94	9,3	23,1 6,63	9,2	11,07	1,87	17,13	35	38,19	3,26	4,64

Таблица К.3 - Расчет динамических эффектов для женских фигур (поза 3)

№	d1				d2				d3				d4				d5			
	Измерения		Динам. эф-т		Измерения		Динам. эф-т		Измерения		Динам. эф-т		Измерения		Динам. эф-т		Измерения		Динам. эф-т	
	Ст., см	Дин, см	Абс, см	%	Ст., см	Дин, см	Абс, см	%	Ст., см	Дин, см	Абс, см	%	Ст., см	Дин, см	Абс, см	%	Ст., см	Дин, см	Абс, см	%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1	33,7	35,1	1,4	4,15	49,5	51	1,5	3,03	15,5	16	0,5	3,23	24,6	25,6	1	4,07	46	47,9	1,9	4,13
2	33,2	34,7	1,5	4,52	48,8	50,1	1,3	2,66	16,7	17,1	0,4	2,40	25,5	26,6	1,1	4,31	46,3	48,1	1,8	3,89
3	30,7	31	0,3	0,98	47,6	48,6	1	2,10	12,4	12,9	0,5	4,03	24	24,7	0,7	2,92	45,8	47,8	2	4,37
4	32,8	33,8	1	3,05	48,4	50,3	1,9	3,93	16,3	17,1	0,8	4,91	24,9	25,6	0,7	2,81	45,9	48,4	2,5	5,45
5	33,5	35	1,5	4,48	49,1	51	1,9	3,87	14,9	15,3	0,4	2,68	26,2	27,5	1,3	4,96	49,9	51,8	1,9	3,81
6	31,6	32,8	1,2	3,80	45,9	46,9	1	2,18	14,1	14,6	0,5	3,55	24,9	25,9	1	4,02	49,2	51,3	2,1	4,27
7	34	35,6	1,6	4,71	49,9	51,1	1,2	2,40	15,2	15,7	0,5	3,29	26,4	27,3	0,9	3,41	51	53,4	2,4	4,71
8	30,5	31,9	1,9	6,23	46,8	48,3	1,5	3,21	15,8	16,4	0,6	3,80	24,2	24,9	0,7	2,89	48,5	50,3	1,8	3,71
9	34,3	36,3	2	5,83	50,1	51,6	1,5	2,99	17	17,6	0,6	3,53	26	26,9	0,9	3,46	51,1	53,9	2,8	5,48
10	40,7	43,7	3	7,37	45,8	48,8	3	6,55	18,7	19,2	0,5	2,67	26,8	27,9	1,1	4,10	51,6	54,3	2,7	5,23
Ср. знач.	33,5	34,99	1,54	4,51	48,19	49,77	1,58	3,29	15,66	16,19	0,53	3,41	25,35	26,29	0,94	3,70	48,53	50,72	2,19	4,50

Продолжение таблицы К.3

№	b1				a1				a2				a3				a4			
	Измерения		Динам. эф-т		Измерения		Динам. эф-т		Измерения		Динам. эф-т		Измерения		Динам. эф-т		Измерения		Динам. эф-т	
	Ст., см	Дин, см	Абс, см	%	Ст., см	Дин, см	Абс, см	%	Ст., см	Дин, см	Абс, см	%	Ст., см	Дин, см	Абс, см	%	Ст., см	Дин, см	Абс, см	%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1	25,8	26,7	0,9	3,49	14,9	12	-2,9	-19,46	43,3	52,2	8,9	20,5	9	11,9	2,9	32,22	36,2	39,7	3,5	9,67
2	24,3	25	0,7	2,88	16,2	15,1	-1,1	-6,79	41,2	51,1	9,9	24,0	8,9	10,8	1,9	21,35	35,3	39,3	4	11,33
3	22,8	23,5	0,7	3,07	13,9	10,8	-2,9	-20,86	48,9	58,1	9,2	18,8	9,7	12,4	2,7	27,84	35,1	38	2,9	8,26
4	23,9	24,8	0,9	3,77	13,8	11,7	-2,1	-15,22	45,7	54,4	8,7	19,0	9	10,9	1,9	21,11	36	39,1	3,1	8,61
5	24,8	25,6	0,8	3,23	14,4	12,7	-1,7	-11,81	43,8	53,5	9,7	22,1	9	10,7	1,7	18,89	33,8	37,5	3,7	10,95
6	22,7	23,5	0,8	3,52	13,9	12,1	-1,8	-12,95	42,4	51,9	9,5	22,4	8,8	10,2	1,4	15,91	33,9	37,1	3,2	9,44
7	25,4	26,4	1	3,94	14,6	13,5	-1,1	-7,53	47,6	56,5	8,9	18,7	9,5	10,4	0,9	9,47	34,7	37	3	8,65
8	23,4	24,1	0,7	2,99	13,7	12,2	-1,5	-10,95	46,2	55,3	9,1	19,7	9,7	11,1	1,4	14,43	36,8	40,1	3,3	8,97
9	27	37,9	0,9	3,33	15,1	13,2	-1,9	-12,58	48,8	58,6	9,8	20,1	9,3	11	1,7	18,28	35,9	39,3	3,4	9,47
10	46,5	47,3	0,8	1,72	30,8	27,9	-2,9	-9,42	36,5	45,8	9,3	25,4	9,1	11,7	2,6	28,57	32,3	35,5	3,2	9,91
Ср. знач.	26,66	28,48	0,82	3,19	16,13	14,12	-1,99	-12,76	44,44	53,74 46,94	9,30	23,1 6,63	9,20	11,11	1,91	20,81	35,00	38,26	3,33	9,53

ПАТЕНТЫ
АКТЫ ВНЕДРЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ДИССЕРТАЦИОННОГО
ИССЛЕДОВАНИЯ
ДИПЛОМЫ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2388606

СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ТРЕХМЕРНОГО ОБЪЕКТА
СЛОЖНОЙ ФОРМЫ

Патентообладатель(ли): *Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Московский государственный университет дизайна и технологии (МГУДТ) (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2008139382

Приоритет изобретения **06 октября 2008 г.**

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации **10 мая 2010 г.**

Срок действия патента истекает **06 октября 2028 г.**

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам



Б.П. Симонов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2311615

**СПОСОБ БЕСКОНТАКТНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ
ПРОЕКЦИОННЫХ РАЗМЕРОВ ОБЪЕКТА И
ПОЛУЧЕНИЯ ЕГО ТРЕХМЕРНОЙ МОДЕЛИ**

Патентообладатель(ли): *Московский государственный
университет дизайна и технологии (МГУДТ) (RU)*

Автор(ы): *Петророва Ирина Александровна (RU), Коблякова
Елизавета Борисовна (RU)*

Заявка № 2005122014

Приоритет изобретения **13 июля 2005 г.**

Зарегистрировано в Государственном реестре
изобретений Российской Федерации **27 ноября 2007 г.**

Срок действия патента истекает **13 июля 2025 г.**

*Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной
собственности, патентам и товарным знакам*



Б.П. Симонов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2303238

КУРВИМЕТР С ОПТИЧЕСКИМ ЦЕЛЕУКАЗАТЕЛЕМ

Патентообладатель(ли): *Московский государственный университет дизайна и технологии (МГУДТ) (RU)*

Автор(ы): *Петросова Ирина Александровна (RU),
Мартынова Алевтина Ивановна (RU)*

Заявка № **2006107836**

Приоритет изобретения **15 марта 2006 г.**

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации **20 июля 2007 г.**

Срок действия патента истекает **15 марта 2026 г.**

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам



Б.П. Симонов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2251382

**УСТРОЙСТВО ДЛЯ БЕСКОНТАКТНОГО СНЯТИЯ
ПРОЕКЦИОННЫХ РАЗМЕРОВ ОБЪЕКТА**

Патентообладатель(ли): *Московский государственный
университет дизайна и технологии (МГУДТ) (RU)*

Автор(ы): *Петророва Ирина Александровна (RU), Коблякова
Елизавета Борисовна (RU)*

Заявка № 2004109562

Приоритет изобретения **31 марта 2004 г.**

Зарегистрировано в Государственном реестре
изобретений Российской Федерации **10 мая 2005 г.**

Срок действия патента истекает **31 марта 2024 г.**

*Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной
собственности, патентам и товарным знакам*



Б.П. Симонов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2010617018

«Бесконтактный измерительный комплекс»

Правообладатель(и): *Российская Федерация, от имени которой выступает Министерство промышленности и торговли Российской Федерации (Минпромторг России) (RU)*

Автор(ы): *Петросова Ирина Александровна, Андреева Елена Георгиевна, Клочков Роман Сергеевич (RU)*

Заявка № 2010616185

Дата поступления 8 октября 2010 г.

Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ
20 октября 2010 г.

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам

Б.Л. Симонов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2013611419

«Система виртуального моделирования женской одежды»

Правообладатель(ли): *Российская Федерация, от имени которой выступает Министерство промышленности и торговли Российской Федерации (RU)*

Автор(ы): *Гетманцева Варвара Владимировна, Андреева Елена Георгиевна, Петросова Ирина Александровна, Бояров Михаил Сергеевич (RU)*



Заявка № 2012618112

Дата поступления 26 сентября 2012 г.

Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ
9 января 2013 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Б.И. Симонов



«Утверждаю»

Директор Центра по стандартизации,
метрологии, сертификации и инспекции
торговли Согдийской области

 Бобоев А.М.

АКТ

внедрения системы трехмерного сканирования, разработанной Петросовой И.А. в диссертационной работе на тему "Разработка методологии проектирования внешней формы одежды на основе трехмерного сканирования"

В 2010-2013 гг. на территории Согдийской области Таджикистана были проведены массовые антропометрические исследования женского населения (10 000 человек) в возрасте от 18 до 60 лет по специально разработанной программе измерений с помощью системы трехмерного сканирования.

В результате статистической обработки антропометрической информации была получена детальная характеристика разнообразия морфологических типов, встречающихся среди женского населения, определены пределы вариабельности признаков как внутри группы, так и среди различных групп населения, что позволило осуществить их систематизацию, классификацию и установить типологию фигур женского населения данного региона.

Проведённый обмер женского населения Таджикистана показал, что за последние тридцать лет увеличились продольные размеры тела, при этом обхват груди практически не изменился, а обхват талии и бедер стали меньше. Наличие актуальной и достоверной информации о размерных характеристиках и внешней форме тела позволяет обеспечить соразмерность проектируемой одежды фигурам индивидуальных потребителей и повысить удовлетворенность населения данного региона в швейных изделиях.

Работа актуальна, ее результаты лежат в основе процесса повышения удовлетворенности населения одеждой, производимой в условиях массового производства и имеющей меньшую стоимость, что способствует повышению качества жизни в стране.

Зам. директора Центра по стандартизации,
метрологии, сертификации и инспекции
торговли Согдийской области

 Самадов Н.А.



«Утверждаю»

Генеральный директор

ОАО «Зинат»

Зиёбоев М.М

«04» 04 2011г.

АКТ
о промышленной апробации метода проектирования
современного национального костюма и метода бесконтактного
измерения женских фигур.

Комиссия в составе: главного инженера ОАО «Зинат» Рахмоновой М.М., главного конструктора Лушпа С.П., главного технолога Самандовой Т, зав. производством Никонотовой С.В., зав. кафедрой "Художественного моделирования, конструирования и технологии швейных изделий" МГУДТ д.т.н., проф. Андреевой Е.Г., ст. преп. к.т.н. Петросовой И.А., соискателя Сангиновой Д.А. составили настоящий акт в том, что в производственных условиях ОАО «Зинат» была отшита промышленная коллекция женской одежды, для которой были проведены измерения фигур потребителей бесконтактным способом.

При разработке коллекции была применена разработанная Сангиновой Д.А. методика конструирования современного национального костюма, использованы предложенные конструктивно-декоративные элементы, выполнена типизация оформления горловины и предложены рекомендации по рациональному использованию ширины ткани.

При проведении измерений использовался бесконтактный комплекс, позволивший оперативно получать необходимое количество измерений женских фигур с большей точностью, за меньшее время и в более комфортных условиях.

Использование предложенного метода проектирования современного национального костюма и разработанной базы данных конструктивно-декоративных элементов таджикского костюма позволили сформировать коллекцию, в большей степени удовлетворяющую потребителей, что подтвердило увеличение спроса на данную продукцию. Предлагаемый метод проектирования облегчает работу дизайнеров и конструкторов благодаря систематизации исходной информации и предлагаемым методам конструирования и конструктивного моделирования, а также позволяет соединить актуальные направления современной моды с национальными традициями костюма.

Рекомендуем проведение дальнейших исследований, направленных на аккумуляцию большего количества информации в базах данных, расширения спектра исследований исторического национального костюма,

создание модулей систем автоматизированного проектирования одежды для современной одежды жительниц Таджикистана.

Так как адресное проектирование женской одежды на фигуры индивидуального заказчика занимает значительное место в объеме производства предприятия, то внедрение предложенных разработок позволило получить следующий экономический эффект:

- сократилась трудоемкость снятия размерных признаков на 20 - 40%;
- сократились затраты времени на создание индивидуальных и промышленных коллекций женских платьев на 10-50%;
- повысился спрос на производимую новую продукцию на 25%.

гл. инженер
 гя. конструктор
 гл. технолог
 зав. производства

M. Rahmonova
S. P. Lushpa
T. Samandova
S. V. Nikonotova

Рахронона М.М.
 Лушпа С.П.
 Самандова Т.
 Никонотова С.В.

д.т.н. проф.
 к.т.н. ст. преп.
 соиск.

E. G. Andreeva
I. A. Petrosova
D. A. Sanginova

Андреева Е.Г.
 Петросова И.А.
 Сангинова Д.А.

**Московский государственный университет дизайна и технологии
(ФГБОУ ВПО «МГУДТ»)**

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе
проф. д.т.н. Шустов Ю.С.

«15» 02 20 14 г.

АКТ

**о внедрении результатов диссертационной работы Петросовой И.А.
на тему «Разработка методологии проектирования внешней формы
одежды на основе трехмерного сканирования» в научно-
исследовательской деятельности**

Научная работа Петросовой И.А. выполнялась в рамках реализации важнейших проектов государственного значения по приоритетным направлениям в области базовых и критических военных, специальных и промышленных технологий. Результаты диссертационного исследования Петросовой Ирины Александровны нашли отражение в выполненных научно-исследовательских работах:

«Разработка теоретических основ бесконтактного муросометрического метода изучения объектов сложной формы» (тематический план Министерства образования РФ);

«Бесконтактные методы изучения объектов сложной формы и способы получения трехмерной модели» (аналитическая ведомственная целевая программа «Развитие научного потенциала высшей школы» (2009-2011 годы));

«Разработка современных требований к квалификации работников инновационных предприятий легкой и текстильной промышленности» Госконтракт №11411.0816900.19.112 от 20.09.2011г (план выполнения НИОКР Минпромторга РФ по разработке проектов по техническому перевооружению и развитию отраслевой науки);

«Разработка рационального ассортимента и технологии проектирования многофункциональной детской одежды для стационарных больных» (хозяйственный договор с ОАО ЦНИИШП»);

«Разработка информационно-технической структуры бесконтактного измерительного комплекса для определения проекционных размерных характеристик объектов сложной формы» (хозяйственный договор с ООО «Центр инновационных стратегий»).

Опытные образцы систем трехмерного сканирования экспонировались на IX Московском международном салоне инноваций и инвестиций в 2009 год, на IV Московском Фестивале Науки, и получили диплом первой степени на IX Всероссийской выставке научно-технического творчества молодежи - НТТМ-2009.

Проект «Система трехмерного сканирования фигуры и проектирования одежды» был включен в объединённую российскую экспозицию Министерства образования и науки РФ на международной выставке информационно-коммуникационных технологий CeBIT-2013 (Ганновер, Германия).

Петророва И.А. прошла научную стажировку для молодых ученых и преподавателей в Германии в «Университете прикладных наук Кайзерслаутерн» в рамках российско-германской программы DAAD и Министерства образования и науки РФ "Михаил Ломоносов" в период 15.09.2010 г. по 15.12.2010 г. В рамках стажировки была проведена апробация полученных научных результатов в Институте прикладных наук Кайзерслаутерна и научно-производственном предприятии «ONE - TWO – SNOE» г. Трир Германия.

Начальник отдела НИР



Виноградова Ю.В.

«УТВЕРЖДАЮ»

Генеральный директор

Производственного объединения

ООО «Бизнес Партнер»

Соколова А.М.



» 2012г.

АКТ

производственной апробации опытного образца автоматизированной системы параметрического моделирования одежды сложных форм «Система виртуального моделирования женской одежды»

Настоящий акт составлен комиссией представителей ООО «Бизнес Партнер» в составе: ведущий инженер Матюшина Т.В., художник Захарова Г.П., главный конструктор Оськина М.И. в том, что в условиях швейного предприятия произведена производственная проверка опытного образца «Системы виртуального моделирования женской одежды», разработанного ООО «Центр инновационных стратегий» в рамках НИОКР под руководством Андреевой Е.Г., Гетманцевой В.В., Петросовой И.А.

Комиссия отмечает, что разработанная система трёхмерного параметрического моделирования позволяет эффективно и качественно осуществлять построение модельных конструкций женских изделий с учётом как пожеланий индивидуального потребителя (требования к оформлению внешнего вида модели), так и технико-экономических показателей качества (материалоемкость изделия, трудоёмкость его обработки). Возможность варьирования величин конструктивных параметров обеспечивает создание желаемой формы проектируемого изделия.

Образцы моделей, сконструированные при использовании системы 3D параметрического моделирования женских изделий, обладают хорошей эстетичностью внешнего вида и имеют высокую степень технологичности.

Использование разработанной системы трёхмерного моделирования женских изделий способствует улучшению качества проектируемых моделей, экономии такни за счёт обеспечения точного воспроизведения художественной формы (исключение этапа макетного поиска) и проектирования изделий с оптимальной площадью лекал, сокращению числа примерок и повышению производительности труда конструктора.

Применение предлагаемой системы позволит снизить затраты времени на проектирование модельных конструкций за счёт сокращения времени на определение величин модификации базовых конструкций при конструктивном моделировании на 25% и повысить производительность труда конструктора на 30%.

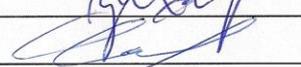
Приобретение и внедрение автоматизированной системы параметрического моделирования одежды сложных форм «Система виртуального моделирования женской одежды», разработанная ООО «Центр инновационных стратегий» в рамках НИОКР под руководством Андреевой Е.Г., Гетманцевой В.В. Петросовой И.А. является перспективным

Представители комиссии:

Ведущий инженер

Художник

Главный конструктор


Матюшина Т.В.

Захарова Г.П.

Оськина М.И.



24.08.2012

Генеральный директор

ООО «Бизнес Партнер»

/ Соколова А.М.



«ТВЕРЖДАЮ»

Генеральный директор

ООО «Анна Тарес»

/ Карташова Д.А.

123022, Москва, ул. Ходынская, д. 6, офис 61

тел.: (901) 538-63-80, (910) 463-04-03

23 августа 2012г.

АКТ

апробации «Система виртуального моделирования женской одежды»

Наименование и состав изделия, его функциональное назначение:

«Система виртуального моделирования женской одежды» направлена на автоматизацию этапа художественного проектирования и моделирования женской одежды сложных объемных форм за счет баз данных и баз знаний. Система разработана ООО «Центр инновационных стратегий» в рамках НИОКР под руководством Андреевой Е.Г., Гетманцевой В.В., Петросовой И.А.. Структура системы включает две подсистемы: подсистема проектирования внешней формы изделия и проектирования и редактирования плоскостной конструкции, также структура системы включает базы данных и базы знаний, содержащих обработанный информационный массив эмпирических и экспериментальных данных.

С использованием системы на предприятии были разработаны перспективные коллекции на сезоны весна- лето и осень- зима 2012 года.

Образцы моделей, отшитые по спроектированным в системе конструкциям, обладают хорошей эстетичностью внешнего вида и имеют высокое качество посадки на любой фигуре.

При использовании автоматизированной параметрической системы моделирования для создания конструкций моделей женской одежды комиссией ООО «Анна Тарес» отмечены следующие преимущества:

- высокий уровень параметризации системы;
- возможность оценки качества посадки изделия на любой нетиповой фигуре;
- возможность оценки и редактирования внешней формы изделия;
- возможность получения качественной двухмерной конструкции за счёт высокого уровня считываемой информации с трёхмерного изображения;
- возможность визуализации фактуры материала;
- минимальный вес программы в силу универсальности производимых расчётов;
- удобство работы оператора с пользовательским меню.

По результатам апробации отмечено, что разработанная автоматизированная система обеспечивает:

- редактирование конструкций по определённым параметрам,

- проектирование и редактирование внешнего вида модели сложной объёмной формы,
- простоту и удобство использования средств автоматизации,
- возможность получения комплекта проектно-конструкторской документации, необходимой для изготовления изделия,
- повышение производительности труда.

Комиссия отмечает, что внедрение системы автоматизированного параметрического моделирования одежды сложных форм в процесс проектирования одежды позволяет значительно упростить работу проектировщика освободить процесс создания модели одежды от трудоёмкого и материалоемкого этапа макетирования, а так же повысить ее эффективность за счет улучшения качества лекал, а следовательно, и готового изделия. Использование интерактивной системы виртуальной примерки моделей одежды в процессе проектирования одежды позволит повысить сбыт продукции, обеспечить большую стабильность производства и конкурентоспособность предприятия.

Председатель комиссии:
Генеральный директор
ООО «Анна Тарес»



/ Карташова Д.А.

Члены комиссии:

Главный инженер

A handwritten signature in blue ink, likely belonging to S.P. Petrova.

/ Петрова С.П.

Начальник экспериментального цеха

A handwritten signature in blue ink, likely belonging to G.V. Guranda.

/ Гуранда Г.В.

«23» августа 2012г.

«УТВЕРЖДАЮ»

Генеральный директор

ООО «Классик Дизайн»

/Воронина Н.Г.

27282 г. Москва, Чермянский проезд, д.5

E-mail: cls-collection@mail.ru

«07» сентября 2012г.

АКТ

внедрения опытного образца автоматизированная система параметрического моделирования одежды сложных форм на ООО «Классик Дизайн»

Разработчик: Общество с ограниченной ответственностью «Центр инновационных стратегий»

Наименование системы: «Система виртуального моделирования женской одежды» разработана под руководством д.т.н. Андреевой Е.Г., к.т.н. Гетманцевой В.В., к.т.н. Петросовой И.А.

Функциональное назначение – параметрического моделирования женской одежды сложных форм

В условиях швейного производства проводились апробация и внедрение опытного образца автоматизированной системы «Система виртуального моделирования женской одежды» на ООО «Классик Дизайн». Система разработана представителями ООО «Центр инновационных стратегий» в рамках НИОКР.

Программа «Система виртуального моделирования женской одежды» предназначена для художественного проектирования и моделирования внешней формы и конструкций женской одежды сложных пространственных форм, а также для осуществления автоматизированного перехода от художественного проектирования к конструктивному, за счет использования технических средств и информационных баз.

Разработанная автоматизированная система параметрического моделирования одежды сложных форм включает в себя модуль построение внешней формы изделия и модуль построения и редактирования плоскостной конструкции модели одежды заданного покрова и конструктивно-декоративного решения.

Преимуществом разработанной системы является возможность визуализации принятых конструктивных решений модели до изготовления образца в материале.

С использованием системы на предприятии были разработаны модели одежды на индивидуальных потребителей.

Проверка работоспособности и эффективности разработанной система параметрического моделирования одежды сложных форм была проведена путем разработки конструкций женских платьев, жакетов и юбок. Конструкторская документация представлена в электронном виде. Оценка разработанной коллекции проводилась с использованием методики оценки композиционного решения модели на этапе создания эскиза и конструкции, а также проверкой соответствия внешнего вида элемента в экспериментальном образце и в виртуальном эскизе.

Установлено, что, при использовании «Системы виртуального моделирования женской одежды», снижаются затраты времени на проработку новой модели и разработку полной конструкторской документации на проектируемые швейные изделия; повышается производительность работы конструктора.

Разработанная «Система виртуального моделирования женской одежды» расширяет круг решаемых в автоматизированном режиме проектно - конструкторских работ, повышает качество разрабатываемых моделей, сокращает трудоемкость конструкторских работ и уменьшают производственные материальные затраты.

Председатель комиссии:

Генеральный директор

ООО «Классик Дизайн»

 /Воронина Н.Г.

Члены комиссии:

Главный инженер

Начальник экспериментального цеха

 /Савельева О.С

 /Николаева И.В.

«07» сентября 2012г.

«УТВЕРЖДАЮ»

Генеральный директор

ООО «Дизайн Люкс»

 /Виноградова О.Г./

1293233 Москва ул.Снежная, д.17

корп 2 оф 78

тел 8-499-479-61-80

«07» сентября 2012г.

АКТ

экспериментального внедрения «Система виртуального моделирования женской одежды», разработанной ООО «Центр инновационных стратегий» в рамках НИОКР под руководством Андреевой Е.Г., Гетманцевой В.В., Петросовой И.А., в производственный цикл предприятия по производству молодежной современной одежды ООО «Дизайн Люкс»

В процессе экспериментального внедрения «Системы виртуального моделирования женской одежды» в производственный процесс, рабочие места модельеров-конструкторов ООО «Дизайн Люкс» были оборудованы системой автоматизированного моделирования. Внедрение «Системы виртуального моделирования женской одежды» позволило реконструировать процесс разработки новых моделей как с позиции улучшения условий и организацию труда, увеличения производительности труда, так и с позиции повышения качества производимой продукции, улучшения качества посадки на фигуре.

По способу использования разрабатываемая система может:

- встраиваться в существующее технологическое оборудование предприятия;
- размещаться стационарно в качестве измерительной станции и рабочего места конструктора одновременно;
- размещаться удаленно в центре приема заказов; в этом случае разработанная проектно- конструкторская документация, учитывающая размерные признаки индивидуальной фигуры, может быть передана для изготовления на предприятие через Интернет.

Выделенные аспекты обуславливают целесообразность приобретения ООО «Дизайн Люкс» «Системы виртуального моделирования женской одежды».



«07» сентября 2012г.

Генеральный директор
ООО «Дизайн Люкс»
/ Виноградова О.Г.

VENOVA

Россия, 123485 Москва, ул. Таллинская, д.9, к. 3
Тел./факс: (+7 910) 4546349
info@vcnova.ru
www.venova.ru

Tallinskaya str. 9, build. 3, 123485 Moscow, Russia
Tel./fax: (+7 910) 4546349
info@vcnova.ru
www.venova.ru

Исх. № 19 от 27.09.2012 г.

Акт внедрения
системы трехмерного сканирования, разработанной Петросовой И.А. в
диссертационной работе на тему «Разработка методологии проектирования внешней
формы одежды на основе трехмерного сканирования»,
в качестве аппаратно-программного решения виртуальной примерочной для
организации продаж одежды через интернет или систему каталогов

Проведя экспериментальное внедрение опытного образца мобильной системы трехмерного сканирования фигуры человека в процесс удаленной продажи одежды (интернет-магазин), компания «Венова» выражает высокую оценку и подтверждает свое намерение принять участие в дальнейшем развитии проекта с перспективой вывода разработанного технологического решения на зарубежные рынки.

Разработанные к.т.н. Петросовой Ириной Александровной:

- объективный инструментарий оценки соответствия внешней формы готового изделия техническому эскизу;
- технология проведения корректной виртуальной примерки;

представляют значительный коммерческий потенциал при реализации в качестве аппаратно- программно решения примерочной кабинки для изготовления и организации продаж швейных изделий через дистанционные каналы торговли.

С технологической точки зрения, разработанные Петросовой И.А. системы трехмерного сканирования позволяют в автоматическом режиме реализовать весь комплекс работ, необходимый для осуществления продаж швейных изделий через удаленные каналы связи: трехмерное сканирование фигуры человека; измерение размерных признаков; визуализацию трехмерной модели; подбор и выдачу рекомендаций по выбору и приобретению одежды, соответствующей размерным характеристикам потребителя.

Проведенные в ходе ознакомления с работой опытного образца автоматизированной системы трехмерного сканирования испытания доказали

VENOVA

Россия, 123485 Москва, ул. Таллинская, д.9, к. 3
Тел./факс: (+7 910) 4546349
info@venova.ru
www.venova.ru

Tallinskaya str. 9, build. 3, 123485 Moscow, Russia
Tel./fax: (+7 910) 4546349
info@venova.ru
www.venova.ru

целесообразность внедрения технологии в процесс удаленной продажи изделий легкой промышленности.

Рассматривая коммерческий потенциал имеющейся разработки, необходимо отметить постоянно растущие объемы рынка продаж товаров с использованием дистанционных методов торговли, прежде всего, торговлю через интернет и торговлю по каталогам.

Детальный анализ роста рынка продаж одежды через дистанционные каналы сбыта позволяет оценить возможный объем внедрения бесконтактного измерительного комплекса в количестве 50 единиц в 2013 году и 100 единиц в 2014 г.

ООО «Венова», являясь аккредитованным венчурным партнером Фонда посевных инвестиций Российской венчурной компании, подтверждает свое намерение принять участие в дальнейшем развитии проекта с перспективой вывода разработанного технологического решения на зарубежные рынки.

Дополнительно направляем информационное письмо о компании «Венова».

С уважением,
Генеральный директор



Писаренко Л.С.

**Центр Инновационных Стратегий**

Москва, 105187, ул. Ткацкая д. 42
Тел./факс: +7(495) 369-61-67

В Диссертационный совет
Московского государственного университета
дизайна и технологий

Исх. № 2/6 от 26 июня 2013 года

СПРАВКА

об использовании результатов диссертационного исследования

Результаты диссертационного исследования к.т.н. Петросовой Ирины Александровны на тему «РАЗРАБОТКА МЕТОДОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВНЕШНЕЙ ФОРМЫ ОДЕЖДЫ НА ОСНОВЕ ТРЕХМЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ», проводимого на кафедре «Художественного моделирования, конструирования и технологии изготовления швейных изделий» ФГБОУ ВПО «МГУДТ», были использованы при выполнении госбюджетных НИОКР Министерства промышленности и торговли работ в 2010 - 2012 годах по разработке проектов по техническому перевооружению и развитию отраслевой науки, для обеспечения потребностей различных отраслей промышленности и социальной сферы, увеличения доли конкурентоспособной отечественной продукции в общем объеме товаров на внутреннем рынке, в соответствии со Стратегией развития легкой промышленности, утвержденной приказом Минпромторга России от 24.09.2009 № 853.

В 2010 году в рамках НИОКР «Разработка бесконтактного измерительного комплекса для производства продукции легкой промышленности шифр «ЛЛП-020». Государственный контракт № 10411.0816900.19.046 от 13.04.2010 г. созданы:

- информационно-техническая структура и опытный образец системы трехмерного сканирования, для определения размерных характеристик фигуры человека, составлена спецификация необходимого оборудования;
- методика построения достоверной антропометрической трехмерной модели фигуры человека;
- информационно-техническая структура и опытный образец дигитайзера на основе системы трехмерного сканирования для оцифровки бумажных лекал;

- единая методика бесконтактного трехмерного определения широкого спектра антропометрических параметров тела человека с помощью системы трехмерного сканирования
- разработано опытное программное обеспечение для функционирования системы трехмерного сканирования; разработано многоуровневое пользовательское меню, обеспечивающее удобный режим активизации функций системы.

В 2011 году в рамках НИОКР «Разработка систем автоматизированного проектирования конкурентоспособных текстильных изделий» шифр «ПРОЕКТ», Государственный контракт №11411.0816900.19.050 от 13.04.2011г. созданы:

- опытный образец мобильной системы трехмерного сканирования, для определения размерных характеристик фигуры человека,
- математические модели описания сложных пространственных поверхностей тела человека и внешней формы одежды, для определения координат любых точек поверхности и построения достоверных абрисов или сечений в заданной точке;
- методика построения трехмерного виртуального манекена фигуры человека на основе трехмерной антропометрической модели, получаемой по данным трехмерного сканирования для проектирования базовых конструкций женской одежды;
- методика проектирования базовых моделей женской одежды на основе информации, полученной с помощью системы трехмерного сканирования;
- опытное программное обеспечение.

В 2012 году при выполнении НИОКР «Разработка автоматизированной системы параметрического моделирования одежды сложных форм», шифр «СПМ», Государственный контракт №12411.0816900.19.076 от 03.04.2012 г. разработаны и апробированы в промышленных условиях:

- метод проектирования внешней формы швейных изделий на основе трехмерного сканирования;
- программно-методический модуль автоматизированного моделирования одежды сложных форм.

Заместитель генерального директора
ООО «Центр инновационных стратегий»



E. Shinkarenko

Шинкаренко Е.А.

ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ

«ТРИКОТАЖЛЮКС»

105187, г. Москва, ул.Ткацкая, д. 46а, ИНН 7719034474/771901001, тел. (495) 365-06-30, (499) 369-61-67

г. Москва

14 июня 2013г.

Акт промышленного внедрения

метода подбора соразмерной одежды с помощью трехмерного сканирования, разработанного к.т.н. Петросовой Ириной Александровной в диссертационной работе на тему «Разработка методологии проектирования внешней формы одежды на основе трехмерного сканирования»

По данным департамента он-лайн продаж ООО «Трикотажлюкс» установлено, что маркировка трикотажных изделий, которые приобретают женщины ориентируясь на собственное представление о своей фигуре, неизменно отличается от фактических размерных признаков их фигуры. Наибольшие трудности при выборе и покупке трикотажной одежды испытывают женщины больших размеров, так как при покупке заказывают одежду в среднем на один-два размера меньше требуемых.

В условиях департамента он-лайн продаж ООО «Трикотажлюкс» проведена апробация метода подбора соразмерной одежды с помощью трехмерного сканирования. Для реализации метода клиенты проходили одноразовое сканирование фигур в офисе компании и получали идентификационный код фигуры. Затем для корректного подбора изделий требуемых размеров использовались трёхмерные антропометрические модели потребителей, а подбор одежды соответствующего размера происходил путём оценки соответствия антропометрических характеристик потребителя основным конструктивным параметрам трикотажной одежды.

Апробация показала высокую достоверность получаемых результатов, повышение скорости выбора моделей одежды из ассортимента предприятия, благодаря целенаправленному предложению потребителю моделей, соответствующих ему по размерным характеристикам, снижение логистических затрат на доставку одежды потребителю, благодаря отсутствию отказов от покупки или необходимости дополнительной доставки изделия соответствующего размера из-за неверной оценки клиентом собственных размеров.

Применение метода подбора соразмерной одежды с помощью трехмерного сканирования позволило повысить объем продаж трикотажной одежды через департамент он-лайн продаж с 20% до 80%.

Применение предложенного метода подбора соразмерной одежды с помощью трехмерного сканирования обеспечивает повышение удовлетворённости потребителей одеждой, увеличение продаж одежды через интернет, снижает логистические затраты предприятия.

Гл. бухгалтер

Конструктор



Сафонова М.В.

Бочина Т.И.



«Утверждаю»

Директор ХПИТТУ
им. академика М.Осими

Максудов А.Т.
« 22 » декабря 2011г

АКТ

**внедрения мобильного бесконтактного измерительного комплекса
на кафедре «Технология и конструирование изделий
легкой промышленности» Худжандского политехнического института
Таджикского технического университета им. академика М.Осими**

Разработчик: Общество с ограниченной ответственностью «Центр инновационных стратегий»

Наименование и состав изделия, его функциональное назначение:

«Бесконтактный мобильный измерительный комплекс для производства продукции легкой промышленности». Функциональное назначение – получение информации о форме поверхности фигуры человека.

Важной проблемой в республике Таджикистан при проектировании современной одежды является изменение типологического состава населения за последние 30 лет. Особое значение при проведении массовых обмеров имеет точность получения исходной информации об антропоморфологических особенностях фигур. Однако из-за национальных и религиозных традиций снятие размерных признаков контактным способом становится особенно дискомфортным.

При использовании мобильного бесконтактного измерительного комплекса для проведения массовых обмеров женского населения Таджикистана в рамках выполнения работ по разработке шкалы процентного распределения типовых фигур отмечены следующие преимущества бесконтактного измерительного комплекса: высокая точность получаемых

измерений, упрощение обработки информации, скорость получения требуемых размерных характеристик; снижение дискомфорта потребителей при проведении измерений, удобство работы оператора с пользовательским меню.

Отмечено, что комплекс обеспечивает возможность сохранения полученных результатов обмера и визуализации потребителей в виде трехмерной модели в распространённые форматы IV, PLY, CGM и позволяет сохранить информацию о размерных характеристиках потребителей в специализированном встроенном архиве.

Важное преимущество комплекса в том, что его использование безопасно для здоровья потребителей, в отличие от западных аналогов, использующих вредное для зрения лазерное излучение или пучки белого света.

Бесконтактный комплекс обеспечивает получение необходимых для проектирования изделий легкой промышленности размерных характеристик с требуемой точностью и высокой скоростью. Такой комплекс востребован большими и малыми предприятиями легкой промышленности, стремящимися к повышению качества производимой продукции и обеспечению соразмерности изделий легкой промышленности фигуре потребителя.

Проректор по науке и инновациям
д.т.н., профессор



Мансурова Д.С.



«Утверждаю»

Директор ХПИТТУ

им. академика М.Осими

Максудов А.Т

« 22 » декабря 2011г

АКТ

**внедрения результатов диссертационной работы
Петросовой Ирины Александровны по разработке теоретических
основ в области бесконтактных измерений объектов сложной формы для
проведения массовых обмеров женского населения Таджикистана в
рамках выполнения работ по разработке шкалы процентного
распределения типовых фигур, выполняемой на кафедре «Технология и
конструирование изделий легкой промышленности» Худжандского
политехнического института Таджикского технического университета
им. академика М.Осими.**

Петросовой И.А. разработаны теоретические и практические основы универсального бесконтактного метода определения антропометрических характеристик фигуры человека, с применением виртуального измерительного инструмента позволяющего получать визуальную и метрическую информацию одновременно, обеспечивающего высокую точность получаемых данных. Теоретические основы, реализованы в мобильном бесконтактном измерительном комплексе, предназначенном для получения информации о форме поверхности фигуры человека.

Петросовой И.А. разработаны информационно-техническая структура мобильного бесконтактного измерительного комплекса для определения размерных характеристик фигуры человека, составлена спецификация необходимого оборудования.

При использовании мобильного бесконтактного измерительного комплекса для проведения массовых обмеров женского населения Таджикистана в рамках выполнения работ по разработке шкалы процентного распределения типовых фигур отмечены следующие преимущества: высокая точность получаемых измерений, упрощение обработки информации, скорость получения требуемых размерных характеристик; снижение дискомфорта потребителей при проведении измерений.

Отмечено, что комплекс обеспечивает возможность сохранения полученных результатов обмера и визуализации потребителей в виде трехмерной модели в распространённые форматы IV, PLY, CGM.

Использование комплекса безопасно для здоровья потребителей, в отличие от западных аналогов, использующих способы с применением лазерных технологий и структурированной подсветки, что может быть небезопасно при измерении фигуры человека.

Выполненные работы являются значимыми и своевременными, так как результаты работы востребованы большими и малыми предприятиями легкой промышленности, стремящимися к повышению качества производимой продукции и обеспечению соразмерности изделий легкой промышленности фигурам потребителей.

Проректор по науке и инновациям
д.т.н., профессор



Мансурова Д.С.

Московский государственный университет дизайна и технологии
(ФГБОУ ВПО «МГУДТ»)

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе
проф. к.т.н. Козлов А. С.



«10» 04 2013г.

АКТ

о внедрении результатов докторской диссертации к.т.н. Петросовой Ирины Александровны на тему «Разработка методологии проектирования внешней формы одежды на основе трехмерного сканирования»

Настоящий акт составлен о том, что результаты диссертационной работы «Разработка методологии проектирования внешней формы одежды на основе трехмерного сканирования», выполненной к.т.н.Петросовой И.А. на соискание ученой степени доктора технических наук в МГУДТ (научный консультант д.т.н. проф. Андреева Е.Г.), использованы в учебно-образовательной деятельности на кафедре ХМКиТШИ МГУДТ в следующих видах:

1. Учебные пособия: «Антропометрические исследования для конструирования одежды»; «Информационное обеспечение профессиональной деятельности. Моделирование геометрических объектов в среде универсальной САПР».
2. Опытные образцы систем трехмерного сканирования для определения размерных характеристик фигуры человека и проведения исследований по оценке соответствия внешней формы одежды фигуре человека с использованием трехмерного сканирования;

для выполнения курсового и дипломного проектирования студентами высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки дипломированных специалистов 260900 специальности 260902 «Конструирование швейных изделий» и направлению подготовки бакалавров и магистров 262000 «Технология изделий легкой промышленности» и 262200 «Конструирование изделий легкой промышленности».

Профессор кафедры ХМКиТШИ, д.т.н. проф. Андреева Е. Г.

Зав. кафедрой ХМКиТШИ, д.т.н. проф. Зарецкая Г.П.


 этНика

ДИЗАЙН И ПРОИЗВОДСТВО УНИФОРМЫ ВЫСОКОГО КЛАССА

 ООО «Этника» ИНН 7733529253, КПП 773301001, ОГРН 104 779 670 46 47,
 Юридический Адрес: 125476, г.Москва, ул.Василия Петушкова, д.8,
 Тел./факс: +7-495-781-36-52, +7-925-545-73-48, www.etnika.biz, info@etnika.biz

г. Москва

16.04.2013 г.

Акт промышленного внедрения
**программно-методического комплекса трехмерного сканирования, разработанного
 к.т.н. Петросовой Ириной Александровной в диссертационной работе на тему
 "Разработка методологии проектирования внешней формы одежды на основе
 трехмерного сканирования" в производственный цикл предприятия**

При изготовлении большого количества комплектов высококачественной индивидуальной (корпоративной) одежды для сотрудников компаний с различными типами фигур и отличающихся размеров в условиях массового производства возникает необходимость достоверного определения размерных характеристик и особенностей внешней формы фигур. Использование программно-методического комплекса трехмерного сканирования в условиях промышленного производства ООО "Этника" позволило быстро и качественно получать информацию о размерных характеристиках клиента и использовать его для изготовления, оценки и подбора соответствующей фигуре одежды. Внедрение системы трехмерного сканирования осуществлено при изготовлении высококлассной корпоративной одежды для предприятий различного профиля, таких как ОАО "Аэропорт Внуково", ОАО "Авиационная Компания Атлант-Союз" (авиакомпания правительства Москвы), авиакомпании «Московия», «East Air», «Россия», ОАО "Газпром", 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".

Проведённые испытания показали целесообразность внедрения разработанного программно-методического комплекса трехмерного сканирования в процесс изготовления индивидуальной одежды в условиях массового производства, позволили ускорить цикл разработки проектно-конструкторской документации на изделия.

Разработанные Петросовой Ириной Александровной:

- технология проведения виртуальной примерки с помощью системы трехмерного сканирования;
 - объективный инструментарий оценки соответствия внешней формы готового изделия техническому эскизу и внешней форме фигуры потребителя
- обеспечивают высокую удовлетворенность потребителей качеством одежды при снижении сроков изготовления.

Отдельным преимуществом отмечена возможность использования системы трехмерного сканирования в качестве дигитайзера для создания цифровой базы лекал, что обеспечивает более быстрый запуск моделей в производство и надежное хранение коммерческой информации в цифровом виде.

Генеральный директор _____ /Н.Ю. Чиркова/

Конструктор _____ /Е.В. Строчкова/

Технолог _____ /М.М. Комарова/



ООО «Т-Логист»

123298, г. Москва, ул. Маршала Малиновского, д. 6, корп. 1, офис 3

ИНН/КПП 7734697042/ 773401001

ОГРН 1137746197500

Акт промышленной апробации от 14 марта 2013 года

метода оценки проектных решений одежды с помощью трехмерного сканирования, разработанного к.т.н. Петросовой Ириной Александровной в диссертационной работе на тему "Разработка методологии проектирования внешней формы одежды на основе трехмерного сканирования".

Метод оценки проектных решений одежды с помощью трехмерного сканирования использован в условиях производственного предприятия для проведения оценки партии женской одежды на соответствие проектным решениям и антропометрическим размерам и форме фигур. В настоящее время широко распространяются технологии удаленного изготовления одежды, а также востребована услуга покупки одежды через интернет-магазины. Значительным недостатком удаленного изготовления одежды и подбора одежды через интернет является невозможность оценить соответствие швейного изделия размерам и форме фигуры. До проведения апробации инструментарием для оценки степени соответствия готовых швейных изделий запланированному эскизу и размерным характеристикам являлся контактный метод проведения контроля качества и метод экспертной оценки.

В процессе апробации применен разработанный Петросовой И.А. метод оценки проектных решений одежды с помощью трехмерного сканирования. Апробация показала высокую достоверность получаемых результатов, повышение скорости проведения оценки соответствия запланированным размерным характеристикам, подтверждена возможность проведения удаленной оценки через сеть интернет при заказе партии одежды в другом городе или стране. Подтверждена необходимость введения дополнительной трехмерной кодировки швейных изделий для обеспечения возможности быстрого контроля и выбора соответствующей фигуре потребителя модели одежды.

Применение предложенного метода оценки проектных решений одежды с помощью трехмерного сканирования обеспечивает повышение удовлетворенности потребителей одеждой, увеличение продаж одежды через интернет, снижает логистические затраты предприятия.

Генеральный директор



A handwritten signature in blue ink, appearing to be "A.V. Kolodiy".

Колодий А.В.

Общество с ограниченной ответственностью
 «Униформа». ИНН 6713011694
 Юридический адрес: 216240 Смоленская область,
 г. Демидов, ул. Гуреевская, д. 42.
 р/сч. 407028106431200000040
 в Смоленский РФ ОАО «Россельхозбанк»
 Кор./сч. 30101810500000000776
 БИК 046614776

г. Демидов

25.04.13

Акт внедрения

технологии трехмерного проектирования внешней формы одежды на основе сканирования, разработанного к.т.н. Петросовой Ириной Александровной в диссертационной работе на тему «Разработка методологии проектирования внешней формы одежды на основе трехмерного сканирования» в производственный цикл предприятия

В условиях швейного производства проведено внедрение технологии проектирования внешней формы швейных изделий на основе формирования трехмерных виртуальных моделей одежды, отличающихся высокой степенью соответствия антропометрической форме фигуры потребителя, техническому заданию и промышленным образцам изделий.

Проверка работоспособности и эффективности разработанной технологии проведена путем разработки конструкций женских платьев, жакетов, юбок и мужской одежды на индивидуальных потребителей в условиях промышленного производства с помощью программно-методического комплекса трехмерного сканирования. Предложенная методика и инструментарий оценки достоверности представления внешней формы одежды проектируемым промышленным образцам изделий позволило провести оценку разработанных образцов удаленно через интернет, что позволило быстро согласовать с заказчиком внешний вид, форму разработанной одежды и обеспечить высокое качество посадки и удовлетворенность произведенной продукцией.

Установлено, что при использовании технологии трехмерного проектирования внешней формы одежды на основе сканирования снижаются затраты времени на оценку качества посадки и проработку полной конструкторской документации на проектируемые новые швейные изделия. Повышается производительность работы предприятия.

Разработанная Петросовой Ириной Александровной технология трехмерного проектирования внешней формы одежды на основе формирования трехмерных виртуальных моделей одежды, отличающихся высокой степенью соответствия антропометрической форме фигуры потребителя, техническому заданию и промышленным образцам изделий, обеспечивает высокую удовлетворенность потребителей качеством одежды при снижении сроков изготовления.



Генеральный директор *В.И. Жарков* Жарков В.И.

Т.А. Борисенкова Борисенкова Т. А.

4 Фестиваль Науки

Ежегодный Московский
9-11 октября 2009

ГРАМОТА

Награждается

Петророва

Ирина Александровна

За активное участие

в подготовке и проведении

IV Фестиваля Науки

в городе Москве

Проректор о научной работе

А.П. Жихарев



МГУ имени М.В. Ломоносова



Правительство Москвы,
Департамент науки и
промышленной политики
города Москвы



Московский Государственный
Университет Дизайна и
Технологии

9 11 10 2009



ДИПЛОМ

НАГРАЖДАЕТСЯ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«Московский Государственный университет дизайна и технологии»

За активное участие в экспозиции Минобрнауки России
на Международной выставке информационных технологий,
телекоммуникаций, программного обеспечения
и услуг CeBIT-2013



Директор Международного департамента
Министерства образования и науки
Российской Федерации

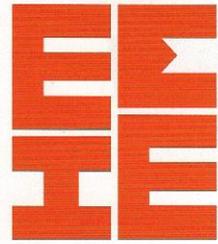
Е.В. Угринович



МСП ИТТ

Президент Международного союза
приборостроителей и специалистов
по информационным и телекоммуника-
ционным технологиям, академик РАН

Н.А. Кузнецов



**ВСЕРОССИЙСКАЯ ВЫСТАВКА
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО
ТВОРЧЕСТВА МОЛОДЕЖИ**

Федеральное агентство по делам молодежи
Правительство Москвы
ОАО «ГАО «Всероссийский выставочный центр»
Совет ректоров вузов Москвы и Московской области

Свидетельство

Петросовой Ирине Александровне

**об успешной демонстрации результатов внедрения инновационных методов
подготовки профессиональных кадров
на выставке НТТМ-2009**



Председатель
Экспертного совета

И.Б. Федоров

Москва, ВВЦ, 24 - 27 июня 2009 г.



**IX МОСКОВСКИЙ МЕЖДУНАРОДНЫЙ
САЛОН ИННОВАЦИЙ И ИНВЕСТИЦИЙ**

ДИПЛОМ

награждается

Московский государственный университет
дизайна и технологии, ГОУ ВПО

за разработку

Бесконтактный измерительный комплекс

Министр образования и науки
Российской Федерации


А. А. Фурсенко

МОСКВА, ВВЦ, 2009